

Estudio y realización de base de datos de pinturas Antifouling para embarcaciones de recreo

Trabajo Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
Guillem Candelas Corrales

Dirigido por:
Sergio Iván Velásquez Correa

Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval

Barcelona, 8 de Julio de 2018



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat de Nàutica de Barcelona

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica



Agradecimientos

“A mis padres y a toda mi familia por no dejar que me rindiese cuando las cosas no salían bien, a todos los profesores de la facultad por su ayuda y dedicación a lo largo de estos cinco años y en especial a mi tutor Sergio Velásquez por su valiosa ayuda durante estos meses de trabajo”

Resumen

Con la realización de este proyecto se pretende desarrollar una metodología para un conocimiento más objetivo de las pinturas antifouling, y en su aplicación específica en la náutica de recreo desde un punto de vista del mercado actual. La intención es crear una base de datos que según los parámetros introducidos, permita obtener una respuesta sobre qué tipo de antifouling sería el ideal para la embarcación a la cual se quiere aplicar la pintura. También se pretende elaborar estudios de mercado para conseguir la máxima información sobre las soluciones más óptimas a la hora de decidir aplicar un tratamiento antifouling. El resultado del proyecto será la consulta óptima que permita además, decidir sobre los tratamientos antifouling que además tengan en cuenta las normativas medioambientales y de calidad exigidas.

Las principales tareas a realizar de este proyecto serán:

1. Introducción y situación actual sobre los diferentes tipos de incrustaciones marinas en los cascos de las embarcaciones, el porqué sucede y qué organismos pueden formarlas.
2. Se buscarán los diversos tipos de antifouling existentes en el mercado y asimismo destacar a los principales fabricantes en este ámbito, con el fin de elaborar una base de datos que instruya al usuario sobre qué pintura antifouling usar según su tipo embarcación y los distintos parámetros a tener en cuenta según la necesidad específica.
3. Se realizará un estudio de mercado sobre las empresas que distribuyen el material y un listado de fabricantes para encontrar para cada situación, el material más viable.
4. Se estimarán los efectos del fouling en la embarcación en cuanto a costes adicionales por culpa de las incrustaciones, en cuanto a consumo, maniobrabilidad y otros parámetros y que permitan tomar la decisión de adoptar medidas antifouling.

Abstract

This project is set to investigate the market of antifouling coats, its history, the evolution of fouling on boats and its solutions to prevent it. The main goal of this project is to create a web associated to our own database, which allows to anyone who uses the web to find the best antifouling product in the market at its best price options.

The main targets to achieve in the project are:

1. An introduction about the fouling and its evolution in past and recent times and why it attaches to boats and how.
2. An advanced and systematic search in the nautical market of the best brands and best products out there to find the most commons ones and the most used to create the database which allows all users of the web to find the best product for the boat.
3. A market analysis of the prime brands and manufacturers of antifouling coats and the products available of each brand.
4. An exhaust analysis about the additional cost that implies the attachment of the fouling in ships and the comparison between a fouled ship and a ship without fouling,

Tabla de contenidos

AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
TABLA DE CONTENIDOS	VI
LISTADO DE FIGURAS	VII
LISTADO DE TABLAS.....	X
INTRODUCCIÓN.....	2
SITUACIÓN ACTUAL.....	3
INTRODUCCIÓN AL ANTIFOULING.....	4
CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA DEL BIOFOULING EN LA HISTORIA.....	7
CAPÍTULO 2. FUNCIONAMIENTO PINTURAS ANTIFOULING	21
CAPÍTULO 3. OTRAS TECNOLOGÍAS ANTIFOULING	39
CAPÍTULO 4. NORMATIVA APLICADA A LOS PRODUCTOS ANTIFOULING	46
CAPÍTULO 5. COSTES ADICIONALES DEBIDOS AL BIOFOULING.....	53
CAPÍTULO 6. DEFINICIÓN DE UNA HERRAMIENTA WEB SOBRE ANTIFOULING	64
CONCLUSIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	74

Listado de Figuras

Ilustración 1. Temperatura media global en la Tierra. Fuente: “A high-resolution data set of Surface climate over global land areas” por David Lister, Mike Hulme, Ian Makin (2000).	4
Ilustración 2. Hechos destacados en la evolución de las pinturas antifouling en la historia. Fuente: “Modern approaches to marine antifouling coatings” por L.D. Chambers, K.R. Stokes, F.C. Walsh, R.J.K. Wood. 23 de Junio 2006	12
Ilustración 3. Formación de la biocapa. Fuente: “CBE Regulatory Meeting: Anti-Biofilm Technologies: Pathways to Product Development. 1 de Febrero de 2017	13
Ilustración 4. Ciclo de formación del biofouling. Fuente: Propia. Basado en “Non-toxic, non-biocide-release antifouling coatings based on molecular structure design for marine applications”. 26 de junio 2015	15
Ilustración 5. Clasificación vegetal del fouling. Fuente: Propia. Basado en “Mantenimiento, el futuro de los antifoulings” por Antonio Rodríguez. “Náutica & Yates magazine”	15
Ilustración 6. Clasificación del fouling animal. Fuente: Propia. Basado en “Mantenimiento, el futuro de los antifoulings” por Antonio Rodríguez. “Náutica & Yates magazine”	16
Ilustración 7. Incrustaciones en obra viva de tipo alga. Fuente: “Navegar.com Tipos de antifouling e incrustaciones que combaten” por Juan Pedro Diego. 6 de Julio 2015	17
Ilustración 8. Incrustaciones en obra viva de tipo limo. Fuente: Interlux “Hull fouling”	18
Ilustración 9. Incrustaciones en la obra viva tipo concha. Fuente: Yachting pages “A complete guide on ultrasonic antifouling” por Michael Henson. 20 de Junio 2016	19
Ilustración 10. Aumento de temperatura anual en los ultimos 140 años. Fuente: NASA GISS Surface Temperature Analysis.....	20
Ilustración 11. Actuación del biocida en matrices duras. Fuente: Apuntes asignatura Inspección de embarcaciones de Recreo por Jordi Torralbo Gavilán.....	23
Ilustración 12. Rugosidad del sustrato en el que se aplica la pintura. Fuente: Apuntes asignatura Inspección de embarcaciones de Recreo por Jordi Torralbo Gavilán.....	23
Ilustración 13. Desprendimiento del biocida y rugosidad del sustrato empleando matriz blanda. Fuente: Apuntes asignatura Inspección de embarcaciones de Recreo por Jordi Torralbo Gavilán.....	24
Ilustración 14. Capa de lixiviación de matriz blanda. Fuente: Apuntes asignatura Inspección de embarcaciones de Recreo por Jordi Torralbo Gavilán.....	25
Ilustración 15. Desprendimiento biocida en pinturas Autopulimentables. Fuente: Apuntes asignatura Inspección de embarcaciones de Recreo por Jordi Torralbo Gavilán.....	26
Ilustración 16. Desprendimiento de biocida y rugosidad del sustrato sobre pinturas Autopulimentables. Fuente: Apuntes asignatura Inspección de embarcaciones de Recreo por Jordi Torralbo Gavilán ...	26

Ilustración 17. Capa de lixiviación en pinturas Autopulimentables. Fuente: Apuntes asignatura Inspección de embarcaciones de Recreo por Jordi Torralbo Gavilán.....	27
Ilustración 18. Relación entre la adhesión relativa y la energía de superficie. Fuente: “Foul release systems and drag” por M.Candries, University of Newcastle. Abril de 2001.....	30
Ilustración 19. Relación entre adhesión relativa y coeficiente calculado de los polímeros. Fuente: “Non-toxica, non-biocide-release antifouling coatings base don molecular structure design for marine applications” por Ayda G.Nurioglu, A. Catarina C. Esteves y Gijsbertus de With. 26 de Junio 2015..	31
Ilustración 20. Estructuras químicas de los polímeros a,b,c y d. Fuente: “Non-toxica, non-biocide-release antifouling coatings base don molecular structure design for marine applications” por Ayda G.Nurioglu, A. Catarina C. Esteves y Gijsbertus de With. 26 de Junio 2015	33
Ilustración 21. Estructuras químicas de los polímeros a, b, c y d. Fuente: “Non-toxica, non-biocide-release antifouling coatings base don molecular structure design for marine applications” por Ayda G.Nurioglu, A. Catarina C. Esteves y Gijsbertus de With. 26 de Junio 2015	34
Ilustración 22. Estructura química de los polímeros a, b, c y d. Fuente: “Non-toxica, non-biocide-release antifouling coatings base don molecular structure design for marine applications” por Ayda G.Nurioglu, A. Catarina C. Esteves y Gijsbertus de With. 26 de Junio 2015	35
Ilustración 23. Visión de la rugosidad de la superficie tratada con pintura autopulimentable. Fuente: ...	37
Ilustración 24. Visión de la rugosidad de la superficie tratada con Intersleek 900. Fuente:.....	37
Ilustración 25. Funcionamiento de antifouling por ultrasonidos. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE	39
Ilustración 26. Equipos empleados en el sistema por ultrasonidos. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE	40
Ilustración 27. Transductor. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE	41
Ilustración 28. Localización del transductor en embarcación de doble casco. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE	42
Ilustración 29. Localización de transductor en caso general. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE	42
Ilustración 30. Localización de los transductores adicionales. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE	42
Ilustración 31. Propagación de las ondas con 2 transductores. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE	43
Ilustración 32. Propagación de las ondas con 3 transductores. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE	43
Ilustración 33. Colocación y propagación transductores en un catamarán. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE	43

Il·lustració 34. Distribució de transductors en buques mercants. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE	44
Il·lustració 35. Esquema de funcionament del MGPS. Fuente: MME Group "A longer life"	45
Il·lustració 36. Pàgina principal del portal web. Fuente: Propia.....	66
Il·lustració 37. Ventana de informació de contacte. Fuente: Propia	66
Il·lustració 38. Ventana con la lista de productos disponible. Fuente: Propia	67
Il·lustració 39. Ventana ampliada de selecció de producto. Fuente: Propia.....	68
Il·lustració 40. Ventana de servicios disponibles del portal web. Fuente: Propia.....	69
Il·lustració 41. Relació de productos HEMPEL y fabricante. Fuente: Propia	70
Il·lustració 42. Relació de productos INTERNATIONAL y fabricante. Fuente: Propia	71
Il·lustració 43. Relació de productos JOTUN y fabricante. Fuente: Propia.....	71
Il·lustració 44. Relació de productos TITANLUX y fabricante. Fuente: Propia.....	71
Il·lustració 45. Ventana de cliente con respectivo historial de compra. Fuente: Propia.....	71
Il·lustració 46. Relaciones entre tablas de la base de datos. Fuente: Propia	72

Listado de tablas

Tabla 1. Materiales poliméricos en pinturas AF sin biocidas. Fuente: “Non-toxica, non-biocide-release antifouling coatings base don molecular structure design for marine applications” por Ayda G.Nurioglu, A. Catarina C. Esteves y Gijbertus de With. 26 de Junio 2015.....	31
Tabla 2. Coste operacional diario de las embarcaciones. Fuente: Propia, Basado en” A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship’s hull” por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015	58
Tabla 3. Incremento del coste debido a la reducción de velocidad. Fuente: Propia, Basado en” A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship’s hull” por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015	59
Tabla 4. Incremento del coste en diferentes embarcaciones debido al incremento del consumo de combustible. Fuente: Propia, Basado en” A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship’s hull” por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015.....	60
Tabla 5. Coste del dique seco. Fuente: Propia, Basado en” A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship’s hull” por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015	60
Tabla 6. Pérdidas de rédito debido a la reducción de velocidad. Fuente: Propia, Basado en” A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship’s hull” por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015.....	61
Tabla 7. Pérdida de rédito durante estancia en el dique seco. Fuente: Propia, Basado en” A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship’s hull” por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015.....	61
Tabla 8. Coste adicional debido al fouling. Fuente: Propia, Basado en” A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship’s hull” por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015	62
Tabla 9. Comparación entre costes con y sin fouling adherido en el casco. Fuente: Propia, Basado en” A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship’s hull” por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015	63

Introducción

Con este trabajo se realiza un estudio completo sobre la evolución del fouling en el mundo de la náutica y cómo éste ha afectado y sigue afectando en gran medida al sector naval en cuanto a costes en su control y en el impacto sobre el desempeño en los buques actuales. Además del estudio y evolución del fouling y los costes adicionales que conlleva, se presentan los distintos avances en el mercado actual en cuanto a productos, como pueden ser pinturas sin biocidas o sistemas alternativos que combinados con las pinturas antifouling presentan resultados más prometedores. Complementariamente al estudio se presenta la propuesta un portal web que sirva como solución a un potencial usuario a la hora de consultar los productos disponibles, debido a la falta de información técnica sobre este tipo de productos en España en el ámbito de la náutica. Este portal consiste en una web en la que un usuario sin tener muchos conocimientos en la materia, pueda obtener el producto más adecuado para su embarcación acorde a su presupuesto y necesidades, mediante una base de datos de productos que se ha creado a partir de datos de fabricantes líderes en el sector, de forma que se puedan escoger productos de manera objetiva minimizando errores en el momento de comprar este tipo de productos.

La mayor motivación para la realización de este proyecto ha sido la de obtener un conocimiento más profesional sobre este tipo de productos y así conocer las soluciones existentes ante las incrustaciones en los cascos, ya que este problema tiene un impacto negativo sobre las propiedades de desempeño de las embarcaciones como son el consumo de combustible, la pérdida de velocidad y el aumento de la rugosidad entre otras. Considero que es de especial interés unificar la información a nivel regional en cuanto a los productos de esta naturaleza para la náutica de recreo, que puedan dar solución al problema del fouling, disponiendo de herramientas que apoyen la toma de decisiones de los usuarios en cuanto a sus respectivas necesidades a la hora de seleccionar un tratamiento óptimo cuando este problema aparezca o simplemente, para evitar se produzca, como medida preventiva.

Teniendo en cuenta que es un problema de actualidad en el sector náutico tanto como de recreo como de la marina mercante, con este trabajo pretendo considerar todo lo que se debe saber antes de comprar o adquirir un producto antifouling dadas unas necesidades particulares sin que ello conlleve a una gran inversión de tiempo y de dinero que pueda limitar la selección óptima de estos productos.

Para la realización de este trabajo se han consultado diversos artículos científicos sobre el fouling, productos antifouling y sus correspondientes características, además de los principales fabricantes y proveedores de estos productos principalmente en el ámbito nacional de España.

Hasta el momento, en el campo de las pinturas antifouling se ha investigado sobretudo en pinturas con bases de resinas y empleando cobre como biocida principal, a pesar de su éxito inicial, el futuro de estos productos se centra en las pinturas sin biocidas basados en siliconas o fluoropolímeros ya que no emplean sustancias tóxicas que pueden tener efectos colaterales sobre el medio marino.

Situación actual

Actualmente en la industria naval como medida y sistema antifouling se están empleando principalmente las pinturas antifouling con biocidas. Sin embargo, cada vez ganan más peso en el mercado las que no emplean biocidas debido a su gran evolución en los últimos años y en su factor ecológico, que cada vez está más presente en la sociedad.

Otros métodos existentes alternativos a las pinturas son los sistemas por ultrasonidos, que están adquiriendo una gran fuerza a causa de las restricciones aplicadas en las pinturas en la última década en base a sus componentes tóxicos.

Otros estudios recientes como el descrito por Vinod B. Damodaran y N.Sanjeeva Murthy [1] investigan las estrategias empleadas por animales marinos o vegetación marina para adoptar sus características anti incrustantes y sintetizar superficies con esas propiedades para evitar la aparición del fouling.

En cuanto al mercado global del mundo de las pinturas antifouling, según cita *Markets and Markets*, “Se espera que el mercado crezca desde los 5,61 mil millones de dólares en 2015 hasta los 9,22 mil millones de dólares en 2021 con un porcentaje de crecimiento anual del 8,6 % entre 2016 y 2021. [2]

Existe una gran demanda de pinturas antifouling y desde la industria naval se espera que esta demanda aumente el crecimiento del mercado naval en los próximos años.

Asia y el Pacífico dominan claramente la distribución global del mercado de las pinturas antifouling en el sector, independientemente del uso, sea para la construcción o reparaciones de embarcaciones. China se está convirtiendo a gran velocidad en el país con más construcción naval y se espera que en el 2017 sea la potencia mundial líder en el sector.

Según la Asociación de constructores navales de Japón, la distribución en cuanto a astilleros y construcción naval se divide en: Japón (19,2 %), Corea del Sur (34,4 %), China (37,2 %), Europa (1,4 %), y el resto del mundo representa un 7,7%. [2]

Finalmente los métodos habituales para encontrar o seleccionar productos antifouling para un cliente convencional, requieren el acceder a información muy especializada y que generalmente no cubre todos los aspectos o necesidades que un usuario potencial requeriría para una óptima selección de estos productos. Se trataría de búsquedas extensas por internet o de la capacidad de acceder a catálogos de empresas especializadas que habitualmente no son fácilmente accesibles. Muchos sitios web solo enseñan los productos y sus características, otros pueden aportar información sobre el precio y un punto de venta específico y finalmente existen otros sitios que comercializan productos de terceros que no garantizan la disponibilidad o los stocks a la hora de hacer una compra. Además muy pocas fuentes pueden proporcionar información sobre aspectos tan importantes como selección óptima, métodos de aplicación, tratamientos de la superficie, disposición de residuos y medidas sobre seguridad, higiene, toxicidad y mantenimiento.

Introducción al Antifouling

En este apartado se procede a realizar una introducción al antifouling de forma muy detallada y mencionar ciertas propiedades que poseen los productos antifouling en el mercado actual para que el usuario tanto medio como experto, tenga más certeza sobre el producto a emplear y que propiedades y ventajas tiene gracias a la información obtenida en herramientas como la que se propone en este trabajo.

QUE ES EL FOULING Y COMO SE PRODUCE?

Se denomina Fouling a todo conjunto de organismos marinos que necesitan estar adheridos a un sustrato para sobrevivir en alguna fase de su ciclo biológico. Existen distintos tipos de organismos o microorganismos los cuales se pueden clasificar de distintos modos. La clasificación más empelada es según el origen de los organismos en los que se dividen de origen vegetal, que se clasifican entre microalgas y macroalgas, y por otra parte existen los de origen animal que se dividen a su vez en si son de cuerpo blando o de cuerpo duro.

Los principales parámetros que afectan a su crecimiento en los cascos de los barcos son la temperatura, la salinidad existente en el agua del mar, la luz del sol y ciertos nutrientes presentes en el agua como por ejemplo fosfatos, nitratos, etc.

Como se ha mencionado, uno de los principales factores que promueven la formación del fouling es la temperatura del agua y del medio ambiente, por tal motivo es más probable que se produzca fouling en las zonas cálidas del globo terrestre que en las zonas más frías. En la siguiente imagen, se observa la distribución de temperaturas global destacando las zonas más cálidas del planeta y las más frías:

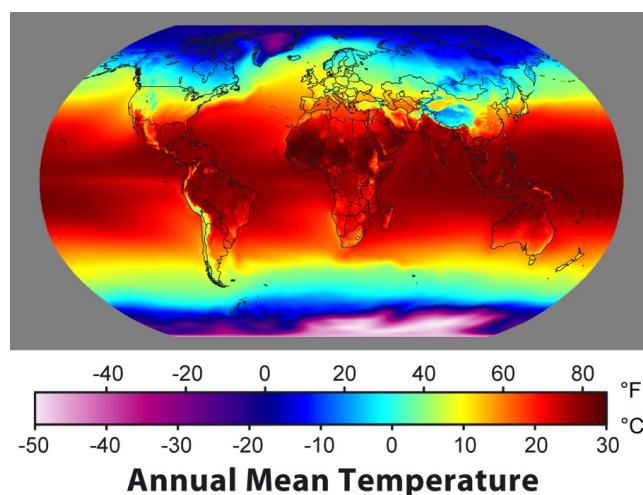


Ilustración 1. Temperatura media global en la Tierra. Fuente: “A high-resolution data set of Surface climate over global land areas” por David Lister, Mike Hulme, Ian Makin (2000).

Como se puede observar 2/3 de la Tierra de media tienen temperaturas superiores a los 15 grados durante el año, lo que significa que los barcos que naveguen por estas zonas son mucho más propensos a padecer problemas de fouling durante la vida de la embarcación. En este trabajo se hablará de la náutica de recreo por lo cual la gran mayoría de embarcaciones estudiadas tendrán problemas de fouling debido a que navegan por las aguas más calurosas.

La aparición de las incrustaciones principalmente suceden en los cascos de los barcos, en plataformas offshore, en circuitos de refrigeración de centrales térmicas y nucleares, en redes de piscifactorías, etc.

Las principales desventajas de las incrustaciones en el casco son:

- Incremento de la rugosidad de la superficie
- Pérdidas de velocidad
- Aumento del consumo de combustible
- Aceleración de la corrosión
- Aumento el riesgo de aparición de la ósmosis en cascos de fibra reforzada
- Efecto estético sobre la embarcación

COMO COMBATIR EL FOULING

Para la prevención del fouling en las embarcaciones es recomendable seguir las instrucciones de descritas por la IMO (Organización Marítima Internacional) en las que se concluye que para la prevención de este fenómeno se ha de poner en seco la embarcación al menos una vez al año para limpiar y repintar los fondos.

Además de estas medidas de prevención y de realizar mantenimiento constante de toda la zona de obra viva en el casco, se recomienda el uso de pinturas antifouling para una mayor protección.

Existen pinturas antifouling con biocidas y sin biocidas. Las pinturas anti incrustantes con biocidas, están formadas en su composición por los biocidas que son compuestos activos, en su mayoría de cobre, que inhiben el crecimiento de la incrustación en las embarcaciones, el vehículo que puede ser una resina o bien un polímero en la mayoría de casos y finalmente por pigmentos y otros aditivos que dependen de la empresa que los fabrica.

Para la selección del mejor biocida se han de tener en cuenta ciertas características necesarias en el producto:

- ✓ Tóxico para organismos anti incrustantes
- ✓ Nula toxicidad y no acumulación en organismos superiores
- ✓ Rápida biodegradación
- ✓ Solubilidad adecuada en agua del mar
- ✓ Estable en la pintura líquida
- ✓ Aprobado por la legislación vigente
- ✓ Ensayos toxicológicos/medioambientales.

En la actualidad, los productos más empleados son los compuestos de cobre que contienen Óxido de cobre y Tiocianato de cobre, y los formados por compuestos orgánicos que contienen carnatos, isotiazolonas, piritionas, etc.

Las pinturas antifoulings con biocidas se clasifican según el mecanismo de liberación del biocida, éstos pueden ser:

- De matriz Insoluble o Matriz Dura
- De matriz soluble o Convencionales
- Autopulimentables

Estos mecanismos se describirán con más detalle más adelante.

Capítulo 1. El problema del biofouling en la historia

2.1. EVOLUCIÓN DEL BIOFOULING EN LA HISTORIA

Los efectos de las incrustaciones han sido recientemente objeto de estudio, sin embargo es un problema detectado y descrito desde hace mucho tiempo. Aunque se han encontrado anotaciones sobre como realizar tratamientos en la obra viva de los cascos desde el siglo V, la realidad es que la búsqueda de una solución al problema del fouling empezó incluso con barcos de los que no se tiene prácticamente información.

Históricamente el desarrollo del proceso para reducir las incrustaciones de las obras vivas de los barcos se han dividido en tres etapas:

- ❖ La continua introducción de revestimientos metálicos que culminaron en el descubrimiento del revestimiento de cobre como superficie anti incrustante.
- ❖ Evitar el uso de cobre en cascos de hierro debido a la corrosión galvánica que posteriormente condujo al desarrollo de los cascos hechos de hierro.
- ❖ El éxito de los esfuerzos en el desarrollo de pinturas antifouling, en las que en el caso de cascos de hierro y acero podían aplicarse encima de capas anticorrosivas.

Desde entonces se han ido estudiando y probando sistemas antifouling. En tiempos de paz la tendencia ha sido proseguir con los sistemas existentes independientemente de su rendimiento. Sin embargo, en tiempos de guerra se intensificaba la investigación en el sector. [3]

2.1.1. PRIMEROS CASCOS EN LA HISTORIA

La historia existente sobre las embarcaciones es incluso anterior a los textos más antiguos de los que se disponen actualmente hoy en día, sin embargo se puede asumir que incluso las embarcaciones de antaño sufrían problemas de incrustaciones que afectaban a la navegabilidad. A pesar de no conocer con exactitud las medidas empleadas para combatir este problema, se han encontrado pequeñas anotaciones sobre el tratamiento de la obra viva de las embarcaciones.

Antiguamente las embarcaciones y las flotas tenían grandes esloras y los viajes que realizaban eran más duraderos. En el antiguo Egipto existían embarcaciones de hasta 50 metros de eslora y realizaban viajes para comerciar hasta Somalilandia ubicada al noroeste de Somalia. Cabe recalcar que incluso existen relatos de embarcaciones egipcias en tiempos romanos que describían esloras superiores a los 55 metros.

La primera mención que se tiene sobre el fouling es una referencia de Aristóteles en el siglo IV a.C. en la que no mencionaba directamente el fouling sino que atribuía el efecto creado por el fouling a la rémora que actuaba como *ship-stopper*, es decir que el pez en cuestión conseguía ralentizar la embarcación yendo a máxima velocidad o incluso detenerla si la embarcación estaba prácticamente detenida en un punto. En relación a esta creencia Plutarco señaló que era más probable que la causa responsable fuese el fouling y

no la rémora que se mencionaba en la época. También manifestó que si se eliminaban las algas, y restos en la obra viva de la embarcación sería más fácil navegar.

Se dice que los antiguos Fenicios y Cartagineses empleaban revestimientos de cobre en la obra viva de sus embarcaciones. Aunque no se puede demostrar que su uso fuese estrictamente para prevenir el fouling, ya que probablemente se usasen esos elementos para crear superficies lisas o reforzar la estructura del casco.

Se emplearon distintos materiales como cera, alquitrán y a partir del siglo III d.C. se empezaron a utilizar revestimientos de plomo incluso conociendo sus efectos corrosivos con el hierro. A pesar de sus efectos corrosivos el revestimiento de plomo fue el material escogido y más comúnmente empleado antes de llegar al siglo XVIII. Incluso las embarcaciones de Arquímedes y embarcaciones romanas empleaban revestimientos de plomo para el casco.

El uso del revestimiento de plomo fue adoptado por los ingleses durante el siglo XV en el reinado de Henry VI debido a su protección ante los gusanos que aparecían en el casco. Sin embargo no se usaba a menudo en Inglaterra y se dice que introdujeron el revestimiento de plomo de las embarcaciones españolas.

En 1682 se realizó una comisión para investigar porque los grandes navíos de la época como *the Phoenix*, *the Plymouth* eran victimas del efecto de la corrosión causada por el revestimiento de plomo, provocándola en los hierros del timón y en consecuencia que no fuese seguro salir a mar abierto, provocando así el fin del revestimiento de plomo en el almirantazgo. A pesar de esta decisión y del éxito del revestimiento de cobre en 1761, en 1768 el *Marlborough* fue revestido con plomo con su posterior resultado de una obra viva totalmente gastada y comida por el fouling que decidieron reemplazarlo con revestimiento de madera.

Los revestimientos de madera se generalizaron después de los problemas que producían los revestimientos de plomo y eran empleados con pelo animal y alquitrán ya que prevenían las incrustaciones de gusanos en el casco. Se les añadía además de alquitrán, sulfuros o aceites para mejorar sus propiedades anti incrustantes.

2.1.2. PRIMEROS REMEDIOS ANTE EL FOULING

La primera superficie anti incrustante que recibió un gran reconocimiento fue el revestimiento de cobre. A pesar de que ya había sido utilizado anteriormente, el primer uso conocido fue el empleado por los Fenicios en embarcaciones griegas y romanas para dar un extra de velocidad sin conocer sus propiedades anti incrustantes.

A pesar de su uso entre los siglos XII y XV en tejados, no fue sino hasta los siglos XVII y XVIII que se empezaron a utilizar estos revestimientos en los cascos de los barcos como anti incrustante.

Se establecieron patentes del uso del cobre como anti incrustante en el 1625 y en 1728 como un nuevo método de conservar la obra viva de las embarcaciones, a partir de ese momento se utilizó en distintas embarcaciones de importancia destacable. La primera y más importante fue en 1758 con la fragata de 32 cañones *H.M.S. Alarm* en la cual fue empleado el revestimiento de cobre como experimento para comprobar la conservación del casco ante el problema de la incrustación de gusanos. A raíz de este experimento se extrajeron 3 conclusiones:

- El revestimiento de cobre protegía ante la amenaza de las incrustaciones de los gusanos y además no dañaba las tablas del navío.
- Las ventajas que tenía eran tan importantes que en los próximos experimentos se recomendaría su uso.
- Aislar el cobre del hierro o mantenerlos a cierta distancia debido a sus problemas de corrosión.

En los próximos años se empleó en distintos navíos de la flota británica como por ejemplo en el *Aurora* en 1765, el *Stag* en 1770, cuatro embarcaciones más en 1776 y nueve más en 1777, y en los siguientes tres años toda la flota inglesa emplearía el uso del cobre y en 1789 dispondrían de 2 embarcaciones fabricadas únicamente de cobre.

A pesar de ser la mejor superficie antifouling conocida en la época, no era perfecta, pues tenía sus inconvenientes como la incertidumbre de sus funciones como anti incrustante ya que no siempre funcionaba igual en todos los casos y su corrosión ante el hierro suponía un problema.

Para evitar estos inconvenientes, en 1803 se realizaron trabajos sobre el cobre con la finalidad de trabajar el cobre de distintos modos para obtener soluciones. Durante estas investigaciones, Sir Humphry Davy, en 1824, indicó que la causa de la elevada corrosión no eran las impurezas del cobre como se pensaba en la época sino que el agua propia del mar reaccionaba con el material, conociendo que el cobre tiene un potencial de reducción ligeramente positivo si se pudiese conseguir que en vez de ligeramente positivo fuese ligeramente negativo la corrosión sería nula. Por tanto propuso realizar experimentos añadiendo Zinc, estaño o hierro al cobre.

Posteriormente en la industria naval se empezaron a utilizar cascos de hierro por lo que directamente hacía que se dejase de utilizar el cobre como anti incrustante debido a su acción corrosiva con el hierro.

2.1.3. LA PROBLEMÁTICA PARA LA PROTECCIÓN EN CASCOS DE HIERRO

Los cascos de hierro surgieron en la industria a finales del siglo XVIII debido a las costosas reparaciones, escasez de madera y la introducción de motores a vapor. Los barcos de madera estaban limitados en longitud y en resistencia estructural e incluso con nuevas técnicas de construcción no podían competir en cuanto a precio con navíos de hierro. También existía el problema de las vibraciones producidas por los primeros motores y propulsores, que las embarcaciones de madera no podían soportar estructuralmente.

Para la viabilidad del hierro como material a emplear en los cascos existían dos variantes fundamentales a combatir que eran la corrosión y el fouling.

Durante los primeros años en la etapa de los cascos de hierro surgieron distintos problemas asociados a la corrosión, debido al uso de revestimiento de cobre, como casos más conocidos destacan los del *H.M.S. Jacakal* en el que la corrosión degradó todas las placas sin que nadie se diese cuenta de ello, también destaca el caso del *Triton* en 1862 el cual por culpa de la corrosión sus placas llegaron a tener espesor de laminas de papel. Según su comandante el barco se mantuvo a flote por el fouling que tenía adherido.

A pesar de que el problema del fouling ya existía anteriormente, se enfatizó mucho en este aspecto para la obtención de grandes velocidades en las embarcaciones ya que al cambiar a embarcaciones de hierro era más difícil conseguir dichas velocidades y maniobrabilidad. El caso más extremo reportado en la época fue el de un ballenero que navegó solamente 6 meses en las costas africanas el cual a pesar de que cada

mes se limpiaba el fouling, era prácticamente inmanejable y no podía navegar debido a la gran cantidad de fouling.

Debido a la problemática existente se propuso deshacerse de los navíos de hierro y se empezaron a vender, sin embargo esas ventas fueron frenadas debido a que no se conocía mejor material por aquel entonces para los requerimientos de las embarcaciones.

Como consecuencia del desuso del revestimiento de cobre por su corrosión con el hierro se empezaron a investigar distintos revestimientos metálicos que tuviesen propiedades similares en cuanto a anti incrustante pero sin el problema de la corrosión o bien investigar métodos de aislar el cobre del casco de hierro.

Se empezó a utilizar el Zinc como sustituto y los resultados fueron lo suficientemente buenos en cuanto a prevención del fouling, sin embargo, se desgastaba muy rápido lo cual no salía rentable.

Se probaron infinidad de elementos metálicos como el metal Muntz, laminado de plomo, hierro galvanizado, Níquel, aleaciones de plomo y Antimonio, de Plomo y Zinc,... Sin embargo estos elementos no tuvieron éxito en las pruebas.

También se probaron revestimientos no metálicos como por ejemplo de fibra, goma, ebonita, corcho y papel.

Una de las grandes consecuencias expuestas anteriormente al emplear cascos de hierro fue el interés por encontrar composiciones que permitiesen eliminar el fouling que tantos problemas causaba, a raíz de este interés se desarrollaron las pinturas antifouling que se conocen en la actualidad que sustituyen los revestimientos de cobre.

2.1.4. PINTURAS ANTIFOULING

La primera pintura registrada como protección antifouling data de 1625 cuando William Beale patentó una pintura compuesta por hierro en polvo, cemento y un compuesto de cobre. Probablemente este fuese el primer uso del cobre como anti incrustante. Más tarde en 1670 Howard y Watson patentaron una pintura compuesta por alquitrán y resina en un barniz de cera de abeja, aguarrás de crudo y laca disuelta en alcohol.

En el siglo XVIII se patentaron 3 composiciones, la primera contenía vidrio machacado en una mezcla de alquitrán, aceite y cal. La segunda contenía Estaño molido en una pasta de Zinc. Y finalmente la tercera patentada por William Murdock en 1791 era una composición de sulfuro de Hierro y Zinc mezclado con barniz.

En 1737 se probaron distintas composiciones en Portsmouth de los cuales el mejor fue una mezcla de alquitrán y azufre el cual fue lo suficientemente bueno para combatir los gusanos que se incrustan en el casco pero que no combatían completamente el fouling del casco.

Hasta el siglo XVIII que no se emplearon en abundancia los cascos de hierro, las pinturas antifouling no pasaron a un primer plano en cuanto a solución al problema del fouling. Fue entonces a partir de 1835, a raíz de los problemas provocados por la corrosión galvánica, que se empezó a recuperar la atención en las pinturas antifouling. A partir de entonces la producción de pinturas ascendió rápidamente en número

y en 1865 ya se disponían de más de 300 patentes solamente en Inglaterra en cuanto a pinturas antifouling.

Las primeras composiciones a partir de 1865 la gran mayoría fueron un fracaso ya que incluso parecía que atraían más el fouling en vez de repelerlo. Debido a estos malos resultados iniciales, las pinturas antifouling obtuvieron una mala reputación inicial.

Se empleaban tóxicos para acabar con el fouling, los más utilizados eran cobre, arsénico y mercurio en distintas composiciones. Se utilizaban por separado y mezclados entre ellos.

A finales del siglo XVIII las pinturas más empleadas eran Moravian y McInness, Rahtjen, Tarr y Wonson's.

Sin embargo estas pinturas a pesar de tener buenas prestaciones ante el fouling eran demasiado caras y de corta duración e incluso a veces inciertas en su eficacia. Por tanto el fouling seguía siendo un problema considerable en la industria. Los primeros productos comercializados en Estados Unidos se conseguían mediante pujas y no tenían especificaciones técnicas ni se realizaban inspecciones, simplemente se miraba la cantidad de pintura enviada.

Los primeros test de las pinturas experimentales fueron realizados en el astillero de Norfolk, en el cual se probaron 21 tipos de formulas de barnices de pinturas. En octubre de 1907 se observó que una formula en concreto estaba dando unos resultados magníficos, debido al éxito de esta formula las primeras pinturas con éxito en la industria naval fueron realizadas por el astillero de Norfolk.

La formula empleada con éxito consistía en el uso como biocida de mercurio rojo en grado A, goma laca, alcohol etílico, aguarrás, betún asfáltico, óxido de Zinc, Zinc en polvo y rojo óxido. Esta formula fue usada desde 1908 hasta 1926 por la Armada.

Desde 1911 hasta 1921 se siguieron realizando experimentos para mejorar las pinturas antifouling existentes en el mercado creadas en Norfolk. Entre ellos se buscaba un sustituto al Óxido de mercurio debido a su toxicidad, y que además era muy caro y difícil de tratar.

En 1921 se creó un subcomité en la American Society for Testing Materials (ASTM) dedicado a las pinturas antifouling con el objetivo de establecer estándares de toxicidad en los ingredientes empleados en la elaboración de estas pinturas.

A partir de 1926 la armada empezó a realizar test con paneles de acero con resultados muy satisfactorios, en los que se aplicaban pinturas poliméricas que empleaban Óxido de cobre y Óxido de mercurio como biocidas.

Como resultado de los avances en las pinturas antifouling hoy día los barcos pueden pasar más de 24 meses en el mar sin problemas de reducción en velocidad ni aumento de combustible debido al fouling.

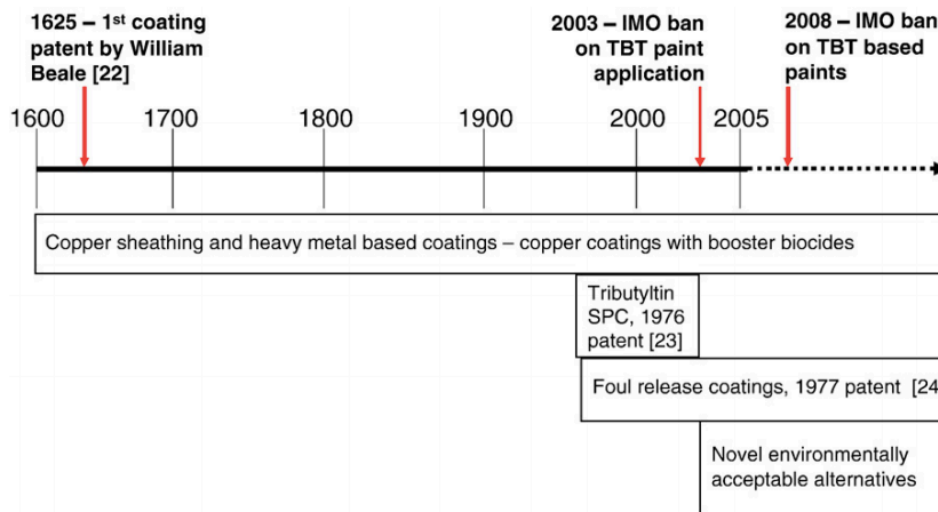


Ilustración 2. Hechos destacados en la evolución de las pinturas antifouling en la historia. Fuente: “Modern approaches to marine antifouling coatings” por L.D. Chambers, K.R. Stokes, F.C. Walsh, R.J.K. Wood. 23 de Junio 2006

2.1.5. DESARROLLO DE LAS PINTURAS ANTIFOULING

Para el desarrollo de las pinturas se empleaba el famoso método de ensayo y error, el cual llevó a formulas que cada vez eran más y más complicadas ya que cada componente introducido en la formula después sufría pequeñas modificaciones con el objetivo de pulir aún más los resultados y cambiaba parámetros que modificaban el resto provocando así nuevos problemas o soluciones distintas a las esperadas.

Promovidos por el deseo de obtener más información acerca de la prevención del fouling, la Armada empezó a realizar experimentos biológicos. A través de estos proyectos se obtenían muchos datos de la toxicidad de los elementos que se empleaban sobre los organismos marinos creadores del fouling.

En la actualidad el mayor problema sobre las pinturas antifouling es el control de la descarga de biocida en la superficie.

2.2. FORMACIÓN DEL BIOFOULING

Recordando el concepto de *fouling* o *biofouling*, se denomina biofouling al fenómeno natural el cual consiste en la acumulación de los organismos vivos, entre ellos se pueden encontrar bacterias, algas, cirrípedos, mejillones, etc. Éstos se acumulan sobre cualquier superficie artificial sumergida o en contacto con el agua, como claramente se observa en los cascos de los barcos.

Existe una inmensa variedad de microorganismos y organismos causantes del fouling, se registran entre 1700 y 4000 especies distintas que provocan este fenómeno.

Se dividen en dos grupos como son el microfouling, que son microorganismos que se adhieren entre ellos y el macrofouling que son organismos de tamaño visibles a simple vista.

Debido a la química de cada organismo y su biología se clasifican también *hard-fouling* que engloban percebes, briozoos, moluscos entre otros y *soft-fouling* como hidroides o algas. El conjunto de microorganismos y organismos son los causantes del fouling.

En la formación del fouling existen etapas distinguidas en las que se forma el ecosistema favorable para la aparición de éste. Estas etapas se dividen en:

- I. **Composición de la biocapa (Primeros minutos).** Primeramente consiste en la formación de la biocapa creada por los microorganismos los cuales producen sustancias poliméricas y crean la biocapa. La formación de las biocapas es compleja, no obstante se puede generalizar en 4 básicos pasos explicados a continuación:
- II. **Creación de la película acondicionadora.** La creación de una película acondicionadora en la superficie, la cual permite a los microorganismos adherirse.
- III. **Adsorción y adhesión de las moléculas.** Todavía no se conocen exactamente los mecanismos de cómo los microorganismos realizan su adhesión, pero existe la teoría DLVO, nombrada así por sus creadores Boris Derjaguin, Lev Landau, Evert Verwey y Theodoor Overbeek. La teoría es la explicación de los coloides en suspensión. Describe que las partículas dispersas están sujetas a dos tipos de fuerzas de largo alcance, que influyen en el hecho de que dos partículas que se acercan bajo la acción del movimiento Browniano lleguen a tocarse y permanecer en contacto o no. Con esta teoría se explica la adhesión de las moléculas.
- IV. **Crecimiento y colonización.** A raíz de de las sustancias poliméricas creadas por las partículas (polisacáridos), éstas hacen de ancla entre las bacterias y la superficie a la que se quieren adherir. A partir de ese momento empieza el crecimiento y acumulación de organismos en la biocapa
- V. **Formación de la biocapa.** Una vez formada la biocapa, contiene una matriz EPS (Sustancias poliméricas extracelulares) y estructuras verticales separadas por espacios intersticiales. Las biocapas formadas tienen estructuras heterogéneas que permiten almacenar más organismos.

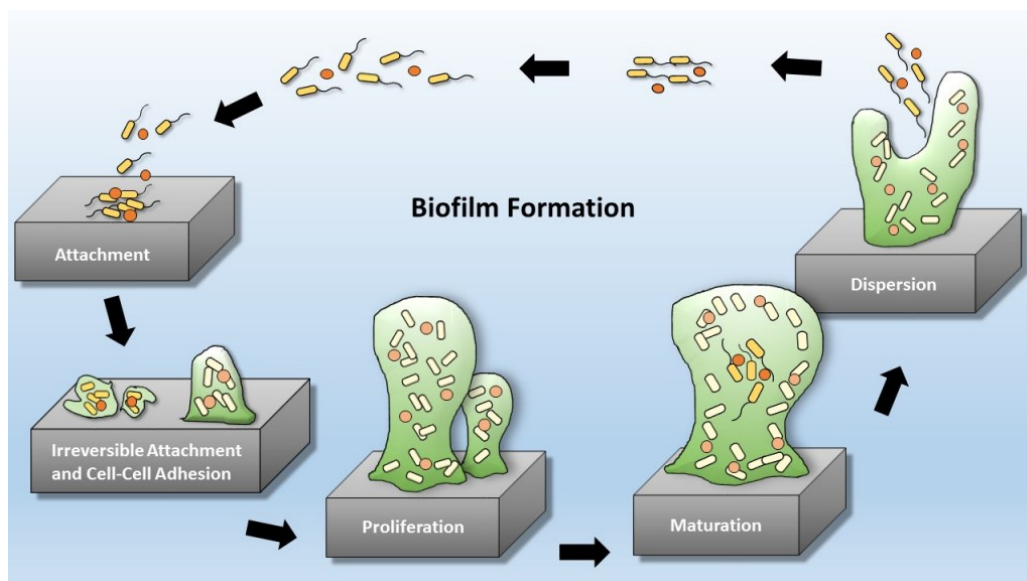


Ilustración 3. Formación de la biocapa. Fuente: “CBE Regulatory Meeting: Anti-Biofilm Technologies: Pathways to Product Development. 1 de Febrero de 2017

En la imagen anterior se puede observar la formación de la biocapa/biopelícula en el sustrato de una embarcación descrita en los distintos procesos anteriores.

- VI. **Adhesión de la Biocapa (24 horas).** Una vez se ha creado la biocapa, ésta se ha de adherir a la superficie para la creación del fouling en la embarcación. Para su adhesión existen dos factores que determinan su adhesión como son el número de células adsorbidas en el sustrato y el número de células transportadas al sustrato.

Las células se acumulan directamente en la superficie mediante la adsorción, una vez el material de superficie está en el medio marino, las moléculas orgánicas lo adsorben hacia la superficie. Es entonces cuando se crea una capa de acondicionamiento compuesta de glicoproteínas que beneficia la aparición de más moléculas de fouling debido al entorno.

Para determinar la adhesión de la biocapa existe una ecuación de eficiencia en la cual se calcula el coeficiente de adhesión.

$$\psi = \frac{\alpha}{T}$$

En la cual:

ψ es el coeficiente de adhesión

α es el número de células adsorbidas en el sustrato

T es el número de células transportadas al sustrato

Creación de microfouling (1 semana). Debido a la combinación de la capa acondicionadora y de la cantidad de células muertas de las bacterias existentes se empieza a crear la primera fase de microfouling en la superficie que se conoce como primera capa. Más adelante se crean colonias de diatomeas, macroalgas y esporas de protozoos incrementando el microfouling extendiéndolo las primeras 2-3 semanas creando la segunda capa.

Creación de macrofouling (Primer mes). Finalmente el microfouling creado anteriormente estimula a colonias de algas, esporas y larvas animales, que son proseguidas por las incrustaciones de organismos marinos como por ejemplo mejillones, considerados como macrofouling.

Como resumen del ciclo que experimenta la creación del fouling se incluye en la siguiente ilustración un esquema de la formación de fouling en cuanto a tiempo, tamaño y organismo creado en cada instante.

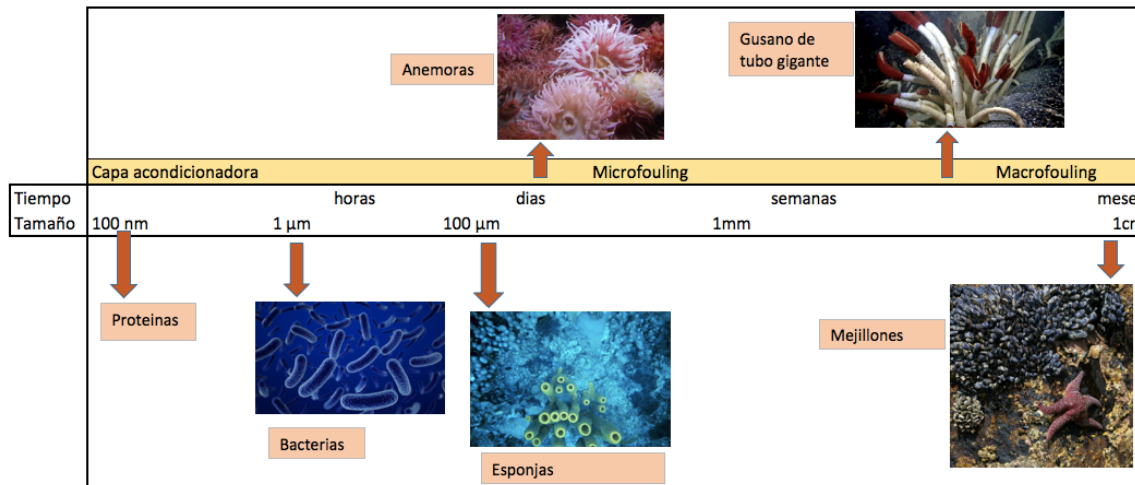


Ilustración 4. Ciclo de formación del biofouling. Fuente: Propia. Basado en “Non-toxic, non-biocide-release antifouling coatings based on molecular structure design for marine applications”. 26 de junio 2015

2.3. TIPOS DE BIOFOULING

2.3.1. CLASIFICACIÓN GENERAL

En general, la clasificación del biofouling se establece por el origen del mismo. Se puede originar de forma vegetal o bien de tipo animal. Los casos más comunes en la náutica son los de origen vegetal debido a que navegan por zonas más costeras que son propensas a este tipo de fouling. A continuación se muestra un esquema en el cual se dividen los tipos de incrustaciones vegetales y animales y sus subdivisiones.

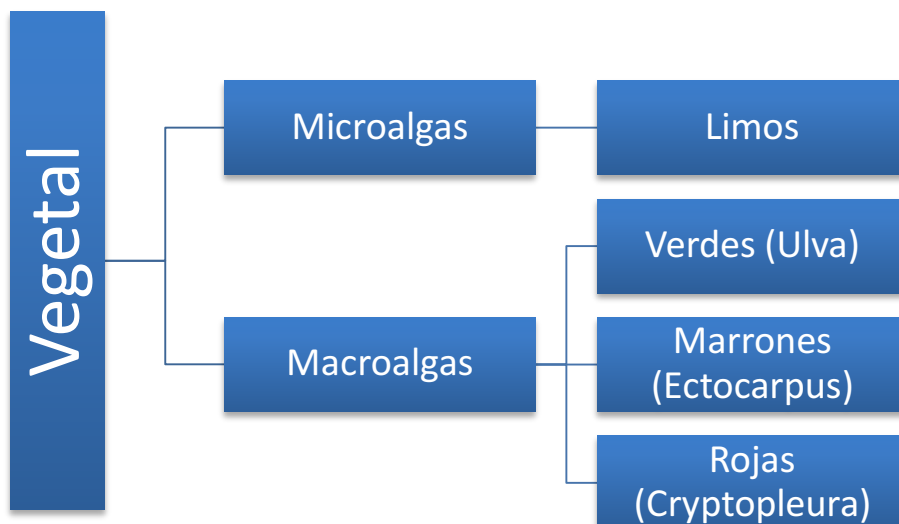


Ilustración 5. Clasificación vegetal del fouling. Fuente: Propia. Basado en “Mantenimiento, el futuro de los antifoulings” por Antonio Rodríguez. “Náutica & Yates magazine”

Las incrustaciones de origen vegetal se dividen entre micro algas que son más conocidas como los limos, y macro algas que se dividen en colores para su distinción de las cuales destacan las algas verdes (Ulva), las algas marrones (Ectocarpus) y las algas rojas (Cryptopleuras).

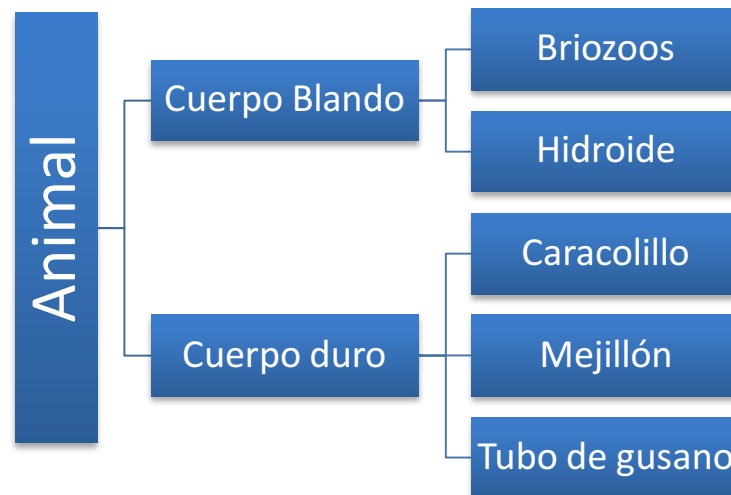


Ilustración 6. Clasificación del fouling animal. Fuente: Propia. Basado en “Mantenimiento, el futuro de los antifoulings” por Antonio Rodríguez. “Náutica & Yates magazine”

En cuanto a las incrustaciones por origen animal destacan según su biología, si son de cuerpo blando como los briozoos, hidroides y de cuerpo duro que son los más vistos en embarcaciones más grandes como los caracolillos, los mejillones y los tubos de gusanos.

2.3.2. INCRUSTACIONES MÁS COMUNES EN NÁUTICA

De las incrustaciones nombradas anteriormente existen 3 tipos que son las más comunes en el día a día de la náutica como son las algas, los limos y las incrustaciones de concha. En este apartado se procederá a un análisis de cada una de estas incrustaciones:

INCRUSTACIONES DE TIPO ALGA

Estas incrustaciones están divididas en tres grandes grupos por sus colores como se ha explicado anteriormente. Se dividen en algas verdes, marrones y rojas. Todas y cada una de ellas suponen el mismo problema al crecer en el casco y se encuentran alrededor de todo el mundo, sin embargo cada grupo tiene sus características que los diferencian de los otros tipos de alga. Como todas las plantas que existen en el planeta solo pueden crecer en lugares donde exista luz.

Las algas verdes necesitan mucha más luz que las algas marrones que a su vez necesitan más luz que las algas rojas. Sin embargo como se ha mencionado anteriormente todas necesitan luz para poder crecer, por lo tanto, todas las algas suelen crecer y concentrarse alrededor de la línea de flotación de las embarcaciones.



Ilustración 7. Incrustaciones en obra viva de tipo alga. Fuente: “Navegar.com Tipos de antifouling e incrustaciones que combaten” por Juan Pedro Diego. 6 de Julio 2015

Como se puede observar en la anterior imagen se diferencian claramente las algas verdes más cercanas a la línea de flotación y las marrones y rojas más alejadas de la línea de flotación.

INCRUSTACIONES DE TIPO LIMO

Estas incrustaciones afectan sobretudo a los yates que acostumbran a tener una capa limosa parecida al musgo y que se suele notar más en los laterales de la embarcación que en el fondo del casco. Debido a su origen vegetal, a veces algas de tamaño menor se enredan formando hilos microscópicos creando así organismos llamados diatomeas.

Existen distintos tipos de limos según el color ya que pueden ser verdes, marrones, marrones rojizos o negros.

Debido a que los elementos anti incrustantes cada vez se han vuelto más eficientes, han conseguido eliminar los elementos como algas o mejillones con una gran eficacia, sin embargo la completa eliminación de los limos no es tan sencilla y quedan presentes bacterias, diatomeas que provocan incrustaciones muy tenaces y difíciles de combatir. Debido a este motivo se puede considerar que los limos son las incrustaciones más difíciles de controlar.



Ilustración 8. Incrustaciones en obra viva de tipo limo. Fuente: Interlux “Hull fouling”

En la imagen anterior se puede apreciar distintos tipos de incrustaciones, no obstante se puede apreciar que la orza esta recubierta de limo verde.

INCRUSTACIONES DE TIPO CONCHA

Este tipo de incrustaciones son similares en cuanto al crecimiento a las algas ya que los organismos microscópicos están en el medio marino dispersos y buscan adherirse a un lugar como por ejemplo el fondo del casco de una embarcación.

La incrustación más conocida de tipo concha son los cirrípedos, llamados comúnmente percebes, de los cuales hay distintas especies clasificadas por tamaño, pueden ir desde 0,75 cm hasta los 7 cm de diámetro.

Cuando los cirrípedos se adhieren al fondo del casco del barco, continúan creciendo y ejercen una presión sobre el área el cual están adheridos.

Los cascos de fibra de vidrio son muy duros pero sin embargo no son inmunes a su destrucción debido a los cirrípedos adheridos. Por ese motivo dejar los cirrípedos adheridos al casco puede provocar graves daños en la embarcación en la superficie del gelcoat.

Debido a su fuerte adhesión, al rascar el cirrípedo para su eliminación, dejan el casco impregnado de una especie de pegamento que puede arrancar el gelcoat al intentar quitar la incrustación.

Existen otros tipos de incrustación de tipo concha como los mejillones, que aparte de su problemática como incrustación en si, también existen varias especies invasoras debido a los tanques de lastre de ciertos buques como por ejemplo el mejillón cebra.

Otro tipo de incrustación de concha son los gusanos de tubo que son muy dañinos para las embarcaciones de madera como los gusanos de teredo, conocidos también como las termitas del mar, ya que pueden llegar a destruir un casco de madera sin protección en muy poco tiempo. Además de la madera también pueden colonizar embarcaciones de fibra de vidrio, lo que hace que este tipo de incrustaciones sean muy peligrosas.

A diferencia de las algas, este tipo de incrustaciones prefieren las zonas oscuras por lo que se mantendrán sobretodo en timones, quillas y orzas.



Ilustración 9. Incrustaciones en la obra viva tipo concha. Fuente: Yachting pages “A complete guide on ultrasonic antifouling” por Michael Henson. 20 de Junio 2016

En la imagen anterior se puede apreciar la gran cantidad de mejillones y percebes adheridos a la superficie del casco.

2.4. FACTORES EN LA APARICIÓN DE FOULING

Existen muchos factores que influyen en este ámbito, incluso una embarcación en una zona concreta de una marina tendrá más incrustaciones que si estuviera en otra zona de la misma marina. Éstas dependerán de factores tales como los cambios de las mareas, el grado de salinidad del agua, o el grado de contaminación del agua y de su temperatura.

Si navegamos por zonas tropicales podremos notar como las elevadas temperaturas del agua ayudan a que crezcan más organismos, en cambio, por las aguas más frías, cercanas al Ártico, se observa que la obra viva se mantiene limpia y sin incrustaciones.

Como ejemplo, podemos afirmar que el incremento de tan solo unos grados en la temperatura del agua del Mediterráneo en un año, puede motivar que el anti incrustante que utilizamos habitualmente resulte totalmente ineficaz esa temporada.

El principal factor de los mencionados anteriormente es la temperatura tanto como del agua como ambiental, es decir, es más probable que se produzca fouling en las zonas calientes del globo terrestre que en las zonas frías. Debido al cambio climático y en su consecuencia al calentamiento global cada vez

se registran temperaturas más elevadas en todo el océano lo que permite la facilidad de la adhesión de organismos a las embarcaciones ya que crea un ambiente más factible para su desarrollo.

Esta evolución en el calentamiento de los océanos se muestra en la siguiente figura:

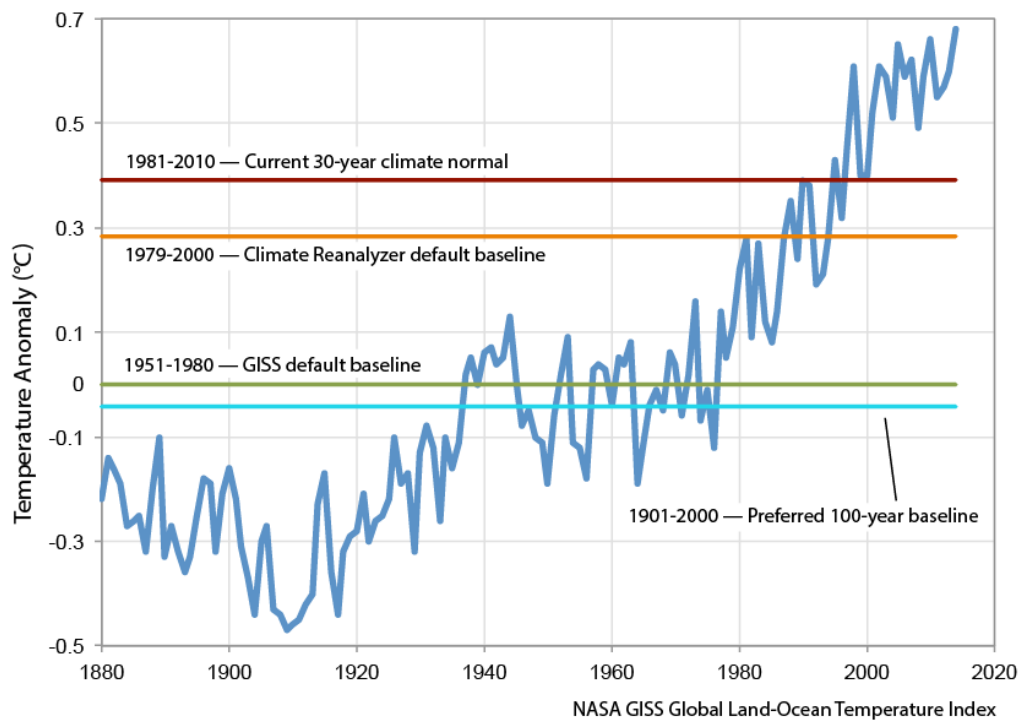


Ilustración 10. Aumento de temperatura anual en los últimos 140 años. Fuente: NASA GISS Surface Temperature Analysis

Según los datos obtenidos por el Instituto Goddard de Estudios Espaciales (GISS) a lo largo de los años la temperatura media de los océanos ha ido incrementando y se espera que siga incrementando si no se crean medidas para impedirlo. Como se ha mencionado antes, este calentamiento global en cuanto a las incrustaciones afecta directamente ya que a más temperatura en nuestros océanos más incrustaciones existirán y además en más zonas que probablemente antes no existían estas incrustaciones.

Capítulo 2. Funcionamiento pinturas antifouling

2.1. CAPA DE LIXIVIACIÓN

Para poder comprender con exactitud el funcionamiento de las pinturas antifouling se ha de introducir un concepto, la velocidad de la capa de lixiviación.

La velocidad de lixiviación se refiere a la velocidad de disolución o desprendimiento de los biocidas de un revestimiento antifouling.

El rendimiento de un revestimiento antifouling depende hasta cierto punto de la velocidad con que los biocidas específicos se disuelven en el mar, en la superficie adyacente del barco. Esto puede afectarse por la temperatura del agua, la salinidad y la velocidad de flujo del agua sobre superficies.

Conociendo esta característica las pinturas se clasifican, como ya se ha visto en el trabajo, según la velocidad de lixiviación de la capa. De modo que para cada determinada velocidad se obtiene un tipo de matriz.

Como se ha mencionado anteriormente se clasifican los antifoulings en tres grandes grupos, de matriz dura o insoluble, de matriz convencional o soluble y Autopulimentables.

2.1.1. MECANISMO DE FUNCIONAMIENTO

Una vez se ha visto los tipos de incrustaciones y la problemática que conlleva lidiar con ellos se muestra a continuación el funcionamiento de las pinturas anti incrustantes en función del tipo que se escoja.

La mejor solución para las incrustaciones es el tratamiento del casco con las propias pinturas, existen diversos métodos alternativos para eliminar las incrustaciones que se mostrarán más adelante en otro apartado. Las pinturas antifouling contienen biocidas que se disuelven alrededor del casco para repeler los organismos incrustantes.

La velocidad a la que se disuelve el biocida es un factor clave debido a que si su velocidad de liberación es muy rápida, la pintura se acabará demasiado pronto y su efecto será en vano, en cambio si su velocidad de liberación es muy lenta el antifouling será ineficaz especialmente en áreas con alta concentración de fouling.

Es en el proceso en el que los organismos intentan adherirse al casco cuando las pinturas anti incrustantes han de realizar su efecto. De lo contrario, si se incrustan en el casco, las pinturas anti incrustantes no tendrán efecto sobre el fouling y el único remedio posible será rascar y raspar.

La elección del mejor producto anti incrustante con el biocida más apropiado y su correspondiente velocidad de liberación depende de la situación de cada embarcación y de cada situación en la que se encuentre el usuario. Por ejemplo, las pinturas anti incrustantes con alto contenido en cobre no pueden

ser utilizadas en cascos de aluminio, algunas embarcaciones se secan durante horas mientras están amarradas con la marea baja, otras en cambio permanecen sumergidas totalmente. Unas necesitan ser pulidas al máximo como las embarcaciones de competición, otras necesitan colores llamativos, es decir que cada embarcación y cada situación es un mundo totalmente distinto. Y esto provoca que la elección de la pintura anti incrustante no sea trivial y se compre la primera que se encuentre.

De este modo las pinturas anti incrustantes solo tienen parecidos superficiales al resto de las pinturas empleadas en el uso cotidiano. A simple vista las pinturas anti incrustantes tienen textura parecida, huelen como las demás pinturas y se aplican igual que las demás pinturas, sin embargo mientras que el resto de pinturas se realizan con el objetivo de tener alta permeabilidad y que sean resistentes al agua, las pinturas anti incrustantes para que realicen su función han de contener agua para poder liberar el biocida que contienen de modo controlado durante el tiempo de duración de la pintura.

La capa creada por la pintura actúa como un embalse de biocida el cual gradualmente se va mermando hasta su completa eliminación. De este modo la embarcación solo estará libre de incrustaciones mientras quede biocida concentrado en la capa de agua de la superficie.

El proceso de disolución del biocida se conoce como lixiviación y la velocidad de disolución de la capa de biocida se conoce como velocidad de lixiviación.

El principal problema en los anti incrustantes es crear los productos que a su vez mantengan una capa de lixiviación constante durante el tiempo de vida del producto y una serie de características como fluidez, secado, adhesión y la estabilidad de la capa en el entorno marino.

En el caso que la liberación del biocida sea excesivamente lenta o excesivamente rápida provocará la existencia de fouling en la embarcación independientemente de emplear el biocida. De este modo es inviable aplicar tanto como una capa muy fina de anti incrustante debido a que tendrá muy poco biocida ni aplicar 5 capas de anti incrustante debido a que no durará la capa 5 veces más sino que obstruirá la liberación del biocida y por tanto seguirá adhiriéndose fouling a la embarcación.

Para conocer la efectividad del anti incrustante seleccionado se han de tener en cuenta distintos factores tales como el tipo de biocida que contiene y el tipo de resina si es natural o sintética que realizan la función adhesiva.

Para clasificar las pinturas se dividen según el método de liberación del biocida de los cuales se distinguen si son de matriz dura, blanda, co-polimeros o Autopulimentables.

2.2. MATRIZ INSOLUBLE O DURA

Las patentes de matriz dura utilizan biocidas que se liberan muy lentamente en el agua, de modo que van actuando gradualmente a medida que avanza la temporada. Al secar, la pintura que contiene las partículas de biocida forma una capa dura que se puede limpiar periódicamente durante la temporada, lo que permite mantener el casco en perfecto estado.

En estas pinturas la velocidad de lixiviación está diseñada para que realice un proceso controlado en el que se empieza a liberar el biocida a alta velocidad y a medida que avanza la temporada va disminuyendo constantemente hasta que no exista el suficiente biocida en la pintura para seguir protegiendo la embarcación. Una vez se termina el biocida la capa de pintura permanece intacta.

Este tipo de antifouling no mantiene sus propiedades anti incrustantes si la embarcación no está constantemente en el agua. Una de sus mayores ventajas es que este tipo de pinturas son resistentes a la abrasión y al frote, por lo tanto es ideal para barcos de regata que permanecen amarrados y para lanchas rápidas ya que es necesario raspar el fondo del casco regularmente para un mayor rendimiento.

El principal inconveniente de este tipo de patente es que las capas de matriz dura se van acumulando y en algún momento habrá que eliminarlas para volver a empezar lo que representa un gasto de mantenimiento.

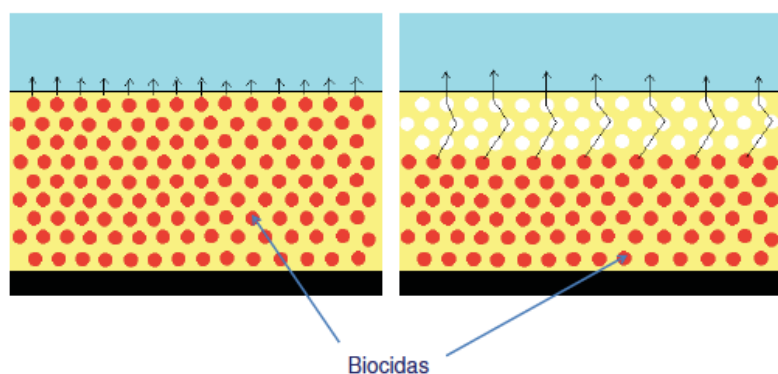


Ilustración 11. Actuación del biocida en matrices duras. Fuente: Apuntes asignatura Inspección de embarcaciones de Recreo por Jordi Torralbo Gavilán

En la anterior figura se puede observar el funcionamiento de los biocidas y su fase de actuación este tipo de anti incrustante en el cual se desprende poco a poco el biocida en el agua.

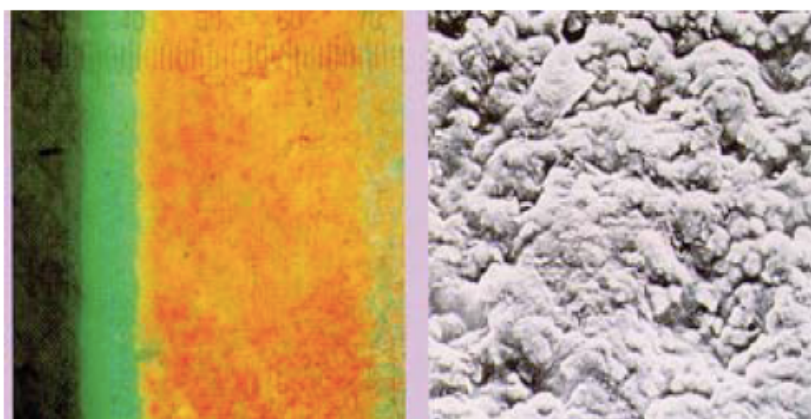


Ilustración 12. Rugosidad del sustrato en el que se aplica la pintura. Fuente: Apuntes asignatura Inspección de embarcaciones de Recreo por Jordi Torralbo Gavilán

En la anterior figura se puede observar a nivel microscópico como queda la superficie sobre la cual se emplea en anti incrustante el cual deja una superficie rugosa al liberarse lentamente los biocidas en el agua.

2.3. MATRIZ SOLUBLE O BLANDA

Las pinturas de matriz blanda son más eficientes en la liberación del biocida ya que emplean menos biocida para una mayor protección ante las incrustaciones. Al decir que la matriz es blanda significa que se erosiona con facilidad, sin embargo existen distintos modos de rápida erosión.

Las patentes de matriz soluble están basadas en aglomerantes, resinas, sensibles al agua salada y generalmente contienen óxido cuproso como biocida principal, también se añaden otros biocidas con el objetivo de aumentar las propiedades del producto y su periodo de funcionalidad. Estas pinturas absorben agua mientras la parte soluble de la resina se va desintegrando, dejando una estructura insoluble que se va disolviendo donde las sustancias activas evitan la adherencia de los organismos marinos en el casco.

Los periodos de vida normal de los recubrimientos de matriz soluble en aguas templadas es de 6 meses máximo, en aguas templadas tropicales entre 6 y 9 meses y en ocasiones hasta 12 meses si se trata de un excelente diseño.

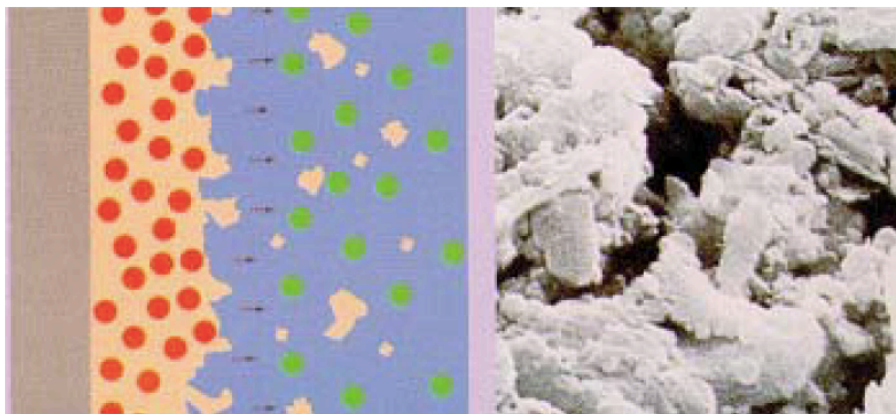


Ilustración 13. Desprendimiento del biocida y rugosidad del sustrato empleando matriz blanda. Fuente: Apuntes asignatura Inspección de embarcaciones de Recreo por Jordi Torralbo Gavilán

En la anterior figura se puede observar a nivel microscópico como queda la superficie sobre la cual se emplea en anti incrustante el cual deja una superficie muy rugosa al liberarse lentamente los biocidas en el agua.

*Capa de
lixiviación*

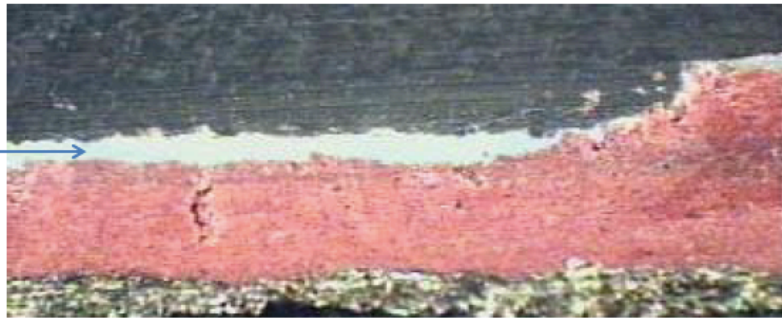


Ilustración 14. Capa de lixiviación de matriz blanda. Fuente: Apuntes asignatura Inspección de embarcaciones de Recreo por Jordi Torralbo Gavilán

En la anterior figura se observa como al ser la velocidad de lixiviación más lenta que en otros tipo de pinturas conlleva a que su capa de lixiviación es más prolongada comparada con otro tipo de anti incrustantes.

2.3.1. MATRIZ BLANDA DE RESINA

Este tipo de pinturas están hechas a partir de resinas naturales i son las de matriz más blanda existentes en el mercado. Se crearon en un principio para aplicarlas a embarcaciones entre mareas y de este modo tuviesen un secado muy rápido. Las fórmulas más antiguas mostraban que las embarcaciones pintadas con este tipo de pinturas, en menos de 72 h de secado podían ser botadas de nuevo.

La gran ventaja de este tipo de pinturas es que son las más baratas del sector. Se suelen emplear en embarcaciones de carga y comerciales.

2.4. AUTOPULIMENTABLES

Ese tipo de antifouling utiliza una pintura con un cierto grado de solubilidad en el agua, de modo que sus fragmentos microscópicos se van erosionando paulatinamente dejando expuesto el biocida activo. Una ventaja obvia es que no hay acumulación de capas ya que su espesor se va reduciendo con el tiempo y a la larga, tiende a ser más barato que los antifoulings con matrices insolubles. El principal inconveniente es que no se puede limpiar el casco. Las patentes Autopulimentables son más adecuadas para barcos de crucero, a vela o a motor, y embarcaciones de desplazamiento.

Se trata de una pintura que se ha desarrollado con la intención de mejorar los problemas respecto a la velocidad de lixiviación. Estas pinturas están combinadas químicamente con el agua salada. La liberación del biocida se origina cuando la capa superficial del polímero se convierte soluble en el agua salada y se disuelve progresivamente, es decir, a medida que navega el barco, el antifouling se auto pule, dejando libre más capas hasta que se desgasta totalmente. La velocidad de lixiviación está controlada, por este motivo el tiempo de funcionalidad es proporcional al espesor de la película que se aplica.

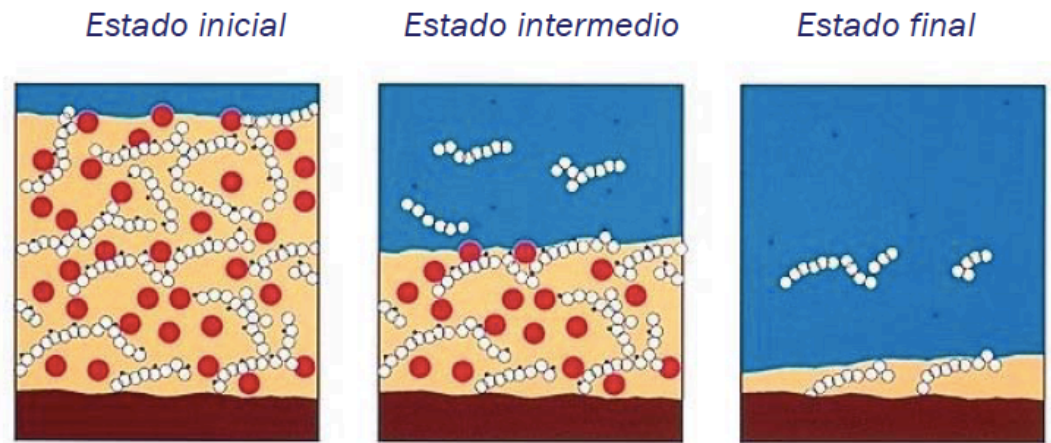


Ilustración 15. Desprendimiento biocida en pinturas Autopulimentables. Fuente: Apuntes asignatura Inspección de embarcaciones de Recreo por Jordi Torralbo Gavilán

En la anterior figura se puede apreciar los diferentes estados en el procedimiento de liberación de biocida en los antifouling Autopulimentables. Primeramente existe un estado inicial en el cual la pintura entra en contacto con el agua, progresivamente se va disolviendo con el agua hasta su completa disolución.

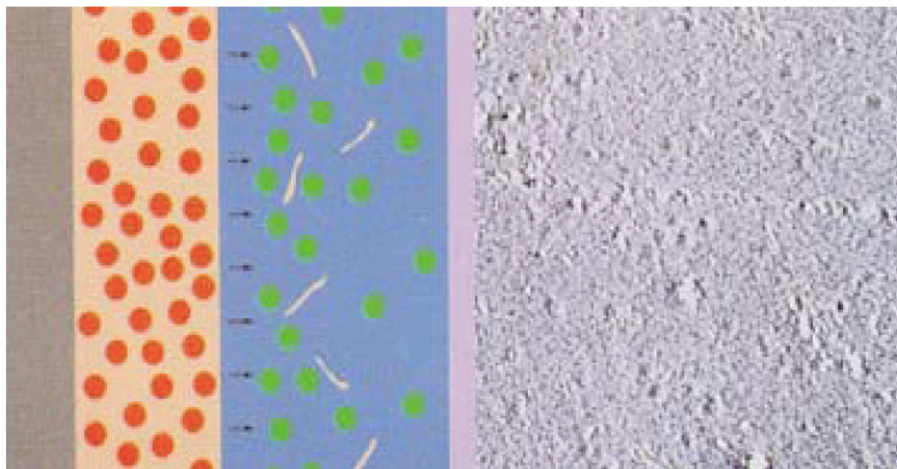


Ilustración 16. Desprendimiento de biocida y rugosidad del sustrato sobre pinturas Autopulimentables. Fuente: Apuntes asignatura Inspección de embarcaciones de Recreo por Jordi Torralbo Gavilán

A nivel microscópico se puede observar en la figura anterior como la superficie sobre la cual se emplea el anti incrustante queda muy lisa y prácticamente sin rugosidades en comparación con los antifouling de matriz dura y convencional en los que se aprecia una gran rugosidad en la superficie.



Ilustración 17. Capa de lixiviación en pinturas Autopulimentables. Fuente: Apuntes asignatura Inspección de embarcaciones de Recreo por Jordi Torralbo Gavilán

En cuanto a la capa de lixiviación, que se observa en la figura anterior, se puede apreciar que en comparación con la matriz blanda, al disolverse progresivamente queda una capa de lixiviación mucho más lineal con un espesor menor y regular que en otro tipo de pinturas con diferentes matrices.

2.5. TIPOS DE PINTURAS ALTERNATIVAS

2.5.1. CO POLÍMERO DE SOLUBILIDAD CONTROLADA

Este tipo de pinturas son parcialmente solubles lo que significa que en el momento que el agua traspasa la superficie de la pintura se lleva consigo la superficie, para hacerse una idea ocurre algo parecido como cuando el agua se topa con una pastilla de jabón. La acción del agua sobre la superficie reduce el grosor de la capa creada, lo que provoca que durante toda la temporada el biocida en contacto con la superficie esté fresco constantemente. Por este motivo este tipo de pintura cumple muy bien con su función anti incrustante en las zonas de más incrustaciones del casco y su durabilidad es proporcional a las capas de pinturas aplicadas.

Este tipo de pinturas están compuestas a partir de una mezcla de resina natural y de resina sintética. Variando la cantidad de natural y sintética se obtendrá un determinado producto según la composición. Por ejemplo la resina natural es mucho más barata que la sintética por lo que los productos con más resina natural que sintética tendrán un precio más asequible, sin embargo tendrán una menor durabilidad que una pintura con más parte sintética.

Las embarcaciones a las cuales se aplican este tipo de pinturas pueden botarse sin necesidad de volver a repintarlas desde que la capa del biocida esté químicamente al borde de la capa.

A este tipo de pinturas a veces se les atribuye el nombre de Autopulimentables debido a que el simple movimiento del barco con el agua erosiona la capa de lixiviación y se libera el biocida.

Sin embargo no se pueden considerar Autopulimentables ya que a diferencia de éstos, los co-poliméricos no realizan ninguna reacción química inicial sino que simplemente se erosionan.

2.5.2. ANTI INCRUSTANTES DE DOBLE RESINA

Este tipo de sistema contiene las ventajas de los antifouling de matriz dura y blanda al mismo tiempo y se pueden emplear en cualquier tipo de embarcación. Tienen la durabilidad de las pinturas de matriz dura que a su vez tiene un mecanismo de erosión del biocida parecida a las pinturas de matriz más blanda.

2.6. COMPOSICIÓN DE LAS PINTURAS ANTIFOULING

Todas las pinturas anti incrustantes existentes en el mercado son producto de una combinación de cuatro componentes:

- ❖ Resina
- ❖ Pigmento
- ❖ Disolvente
- ❖ Biocida

La resina es el elemento que forma la capa de pintura y mantiene el compuesto de pintura estable y controla la liberación del biocida correspondiente, que dictará el tipo de anti incrustante que es el producto. El pigmento es el que otorga el color y el grosor de la pintura. El disolvente marca la velocidad de lixiviación y el tiempo de secado, y finalmente el biocida es el componente activo encargado de repeler las incrustaciones, suelen ser componentes de cobres como por ejemplo el Óxido de cobre.

2.6.1. TIPOS DE BIOCIDAS

El componente más importante de las pinturas antifouling es el biocida ya que se encarga de la función de repeler las incrustaciones del casco. Existen diversos tipos de biocidas como se muestra a continuación:

ÓXIDO DE COBRE

Los elementos derivados del cobre son los más empleados desde hace ya más de 100 años en las fórmulas de las pinturas antifouling. Su función como anti incrustante es alejar las larvas de elementos como mejillones o percebes y evitar que crezcan alrededor del casco. También es un excelente antimicrobiano y evita así formaciones de limos y organismos vegetales que se puedan formar alrededor, sin embargo para combatir estos últimos se necesitan cantidades más grandes de este biocida. Son pinturas de colores de gama oscura.

TIOCIANATO DE COBRE

Sin tener la misma eficacia que el Óxido de cobre, este compuesto de cobre trabaja de manera similar combatiendo el fouling, evitando la formación de larvas de mejillones o percebes. El contenido en cobre de este biocida es considerablemente menor que el Óxido de cobre lo que lo hace bastante útil para cascos de aluminio. Son pinturas de gama brillante y colores claros como el blanco.

IRGAROL 1051

Este componente funciona como biocida ante la aparición de algas en las pinturas anti incrustantes. Es un biocida con una gran capacidad de inhibición sobre la fotosíntesis lo que provoca que tenga un excelente control sobre las algas que aparecen en la superficie del casco. Su baja solubilidad en agua provoca una velocidad de lixiviación baja.

PIRITIONATO DE ZINC

Como se ha mencionado anteriormente el Óxido de cobre es muy efectivo ante las incrustaciones de tipo concha como mejillones o percebes, y para mejorar sus propiedades anti incrustantes ante otro tipo de incrustaciones como algas, limos, hongos, etc. se le añade el Piritonato de zinc, esta mezcla produce que la superficie este muy protegida de incrustaciones tipo alga y limos además de la existente ante incrustaciones de tipo concha debido al óxido de cobre.

ECONEA

Es un agente anti incrustante sin metales que protege los cascos de los barcos, es indicado para incrustaciones de tipo concha y de organismos invertebrados. Se erosiona con rapidez una vez se pone en contacto con el agua. Una vez está en el medio marino, Econeas tiene un mínimo impacto en el medio ambiente debido a su composición por productos biodegradables.

2.7. PINTURAS SIN BIOCIDAS

Como principal objetivo de las pinturas anti incrustantes sin duda alguna es el de evitar las incrustaciones en los cascos de las embarcaciones, sin embargo esa función conlleva el uso de biocidas que a pesar de sus buenos resultados no dejan de ser sustancias tóxicas enviadas al medio marino. Por este motivo se han desarrollado alternativas a las pinturas que emplean biocidas como por ejemplo el *Intersleek de International* o *Silic One de Hempel* que son el nombre comercial que adoptan este tipo de productos.

Estas pinturas no contienen biocidas activos y por tanto no pueden repeler constantemente la aparición de incrustaciones en el casco. El propósito de este tipo de pinturas es crear una superficie alrededor del barco en la cual sea muy complicado que los organismos se adhieran a ella y creen posteriormente fouling. Una vez se adhiere el fouling al casco, debido a la superficie creada, éste es débil y si se encuentra en una fase inicial es muy sencillo de rascar y no requiere mayor esfuerzo en su eliminación.

Este tipo de pinturas son de gran utilidad en barcos en los que los buzos realizan su limpieza regularmente.

2.7.1. EVOLUCIÓN DE PINTURAS SIN BIOCIDAS

Para comprender las propiedades de este tipo de pinturas y su evolución en el transcurso de la historia se han de conocer ciertas características químicas como por ejemplo la energía de superficie que es el exceso de energía de las moléculas de la superficie en comparación con las moléculas del interior. La cantidad de

energía de superficie representa la capacidad de la superficie de interactuar espontáneamente con otros materiales.

En 1970 se examinaron la adhesión de percebes entre otros organismos marinos en sustratos con diferentes energías de superficie. Se supuso que existiría una relación entre el valor de energía de superficie y la adhesión correspondiente que sufre la superficie. Acorde con las suposiciones, las superficies cuyo valor de energía era superior a 25 mN/m tenían incrustaciones mayores a medida que aumentaba el valor de energía de superficie aumentaban las incrustaciones. Sin embargo al disminuir de 25 mN/m en lugar de disminuir las adhesiones, aumentaban de nuevo, por lo que el valor mínimo de energía de superficie rondaba los 25 mN/m y el valor mínimo de adhesión se consideraba 1 como muestra la siguiente figura.

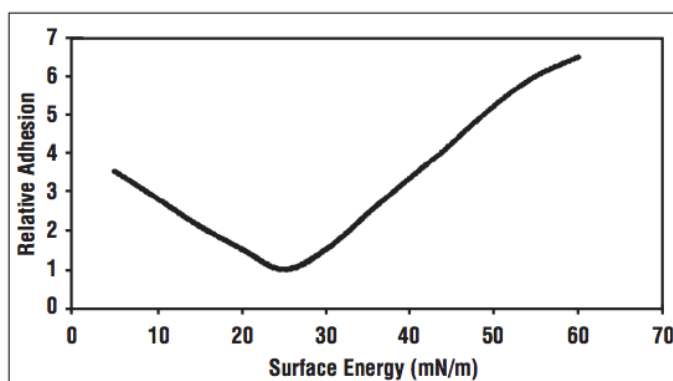


Ilustración 18. Relación entre la adhesión relativa y la energía de superficie. Fuente: “Foul release systems and drag” por M.Candries, University of Newcastle. Abril de 2001

Por lo que se apreciaba que existía otro parámetro a parte de la energía de superficie que afectaba directamente en la adhesión de fouling. Para explicar estas adhesiones se encontraron 2 factores imprescindibles para las pinturas sin biocida, el módulo de elasticidad y el grosor de la capa.

Si el grosor de la capa es muy fino, las incrustaciones tipo concha pueden abrirse paso fácilmente hasta llegar a la pintura anticorrosiva o incluso hasta llegar al propio casco.

Una vez desarrollado el concepto de energía superficial y su adhesión relativa, para evitar la adhesión de estos organismos se intentan evitar sus cuatro principales mecanismos de adsorción.

El primer mecanismo está basado en las interacciones químicas. Aunque varias interacciones químicas no se pueden evitar, las interacciones dipolares, iónicas y covalentes se pueden excluir empleando fracciones apolares en la superficie.

El segundo mecanismo está basado en las interacciones electrostáticas que se pueden eliminar evitando la presencia de heteroátomos, grupos iones y polares en la superficie.

Otro mecanismo de adhesión ocurre mediante entrelazamientos mecánicos. Incluso si la adhesión química y las interacciones electrostáticas están obstaculizadas, los organismos pueden penetrar en la superficie y adherirse.

Y por último, otro mecanismo consiste en la adhesión de superficies inestables que se pueden reorganizar en presencia de adhesivos biológicos, permitiendo así la difusión de los organismos incrustantes.

La superficie ideal tendría que prevenir estos cuatro mecanismos de adsorción de los organismos incrustantes.

Para crear estas pinturas se investigaron diferentes materiales poliméricos como se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Materiales poliméricos en pinturas AF sin biocidas. Fuente: “Non-toxica, non-biocide-release antifouling coatings base don molecular structure design for marine applications” por Ayda G.Nurioglu, A. Catarina C. Esteves y Gijsbertus de With. 26 de Junio 2015

Número	Polímero	Adhesión relativa	Energía superficial (mN/m)	Módulo Elástico E (Gpa)
1	dimetilsiloxano	6	23	0,002
2	hexafluoropropileno	21	16,2	0,5
3	tetrafluoretileno	16	18,6	0,5
4	fluoruro de vinilo	18	25	1,2
5	etileno	30	33,7	2,1
6	metil-metacrilato	48	41,2	2,8
7	estireno	40	40	2,9
8	Nylon 66	52	45,9	3,1

Existe una relación entre la adhesión relativa y la raíz del producto entre la superficie crítica de energía y el módulo elástico de cada polímero, esta relación se muestra en la siguiente gráfica:

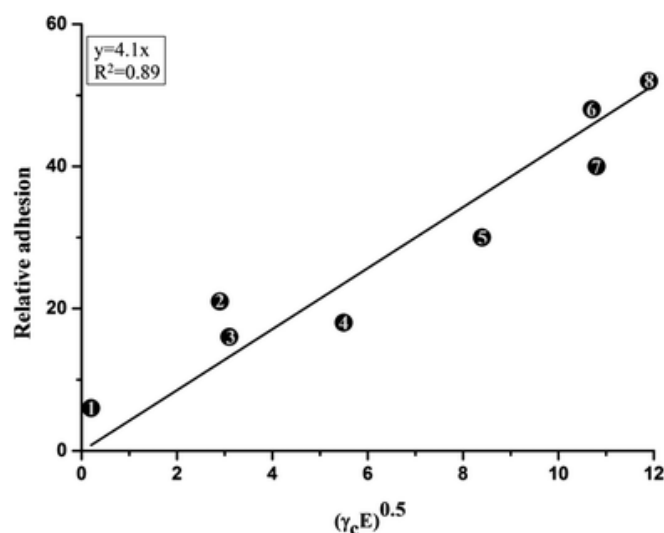


Ilustración 19. Relación entre adhesión relativa y coeficiente calculado de los polímeros. Fuente: “Non-toxica, non-biocide-release antifouling coatings base don molecular structure design for marine applications” por Ayda G.Nurioglu, A. Catarina C. Esteves y Gijsbertus de With. 26 de Junio 2015

En conclusión a los distintos estudios realizados en profundidad para ver el comportamiento de los polímeros, el diseño de la mejor pintura sin biocidas en cuanto a eficiencia debería reunir las siguientes características más relevantes que son:

- Una cadena flexible, linear que no tenga interacciones no deseadas
- El suficiente número de grupos activos en la superficie que les permita moverse libremente por la superficie dentro del rango deseado
- Modulo elástico pequeño
- Superficie lisa a nivel molecular para evitar la infiltración de adhesivos biológicos que derive a entrelazamientos mecánicos
- Moléculas que mantengan estables sus propiedades físicas y químicas en entorno marino

Acorde a las características anteriores, los siloxanos (basados en siliconas) y los fluoropolimeros son los polímeros con mejores números de obtener una baja adhesión y buenas propiedades mecánicas.

PINTURAS BASADAS EN SILICONAS

Las siliconas son polímeros compuestos de grupos inorgánicos centrales de silicona-oxígeno y grupos orgánicos en los lados. En el contexto de las pinturas sin biocidas se refieren a las siliconas como PDMS.

El PDMS es el polímero orgánico basado en silicio más utilizado y es particularmente conocido por sus inusuales propiedades reológicas (o de flujo). PDMS es ópticamente transparente y, en general, inerte, no tóxico y no flamable. También conocido como dimeticona y es uno de los varios tipos de aceite de silicona (siloxano polimerizado). Sus aplicaciones van desde lentes de contacto y dispositivos médicos hasta elastómeros.

El polímero se fabrica en múltiples viscosidades, que van desde un líquido fluido de baja viscosidad, hasta un semi-sólido ahulado espeso. Las moléculas de PDMS tienen cadenas de polímero bastante flexibles debido a sus enlaces de siloxano, que son análogos a los enlaces de éter usados para impartir características de hule a los poliuretanos. Tales cadenas flexibles se enredan ligeramente cuando el peso molecular es alto, lo que da lugar al nivel inusualmente alto de viscoelasticidad del PDMS.

Para formar un polímero sólido elastomérico, el PDMS se hace reaccionar con un agente reticulante y un catalizador, esto puede ser, utilizando calor o lo que se conoce como vulcanización a temperatura ambiente, en la que los materiales reaccionan por sí solos.

Los compuestos formados por siliconas son los más empleados en las pinturas sin biocidas debido a su baja energía superficial y su baja Temperatura de transición.

Muchos compuestos de silicona están en el mercado actual como pinturas anti incrustantes sin biocidas, sin embargo uno de sus mayores inconvenientes es su pobre adhesión al sustrato y sus bajas propiedades mecánicas, que producen en consecuencia una reducción de las prestaciones y una reducción en el servicio durante su vida útil. Para mejorar la adhesión y la durabilidad y a su vez mantener las excelentes propiedades como anti incrustante se incorporan rellenos inorgánicos y anti incrustantes adicionales como el poliuretano y porciones de epoxy.

Se han estudiado otros modos de mejorar las características de estos compuestos como por ejemplo la impregnación de las pinturas con aditivos de poca energía superficial como aceites, creando así otra capa adicional débil que invita a que los organismos incrustantes no se adhieran al sustrato.

Sin embargo las pinturas basadas en silicona son bastante cuestionables en el ámbito medioambiental y en la protección del medio marino.

En relación a los nuevos avances en este campo, existe el diseño de sistemas basados en agentes reticulantes con la habilidad de ser auto-estratificables, que constituyen el avance más prometedor en cuanto a desarrollo de pinturas sin biocidas basadas en siliconas.

Este diseño consiste en la unión de agentes reticulantes de polisiloxano y poliuretano que mostraban una disminución significativa de la fuerza de adhesión de los organismos tipo concha como percebes.

Los ejemplos de las estructuras químicas empleadas en los PDMS son los siguientes:

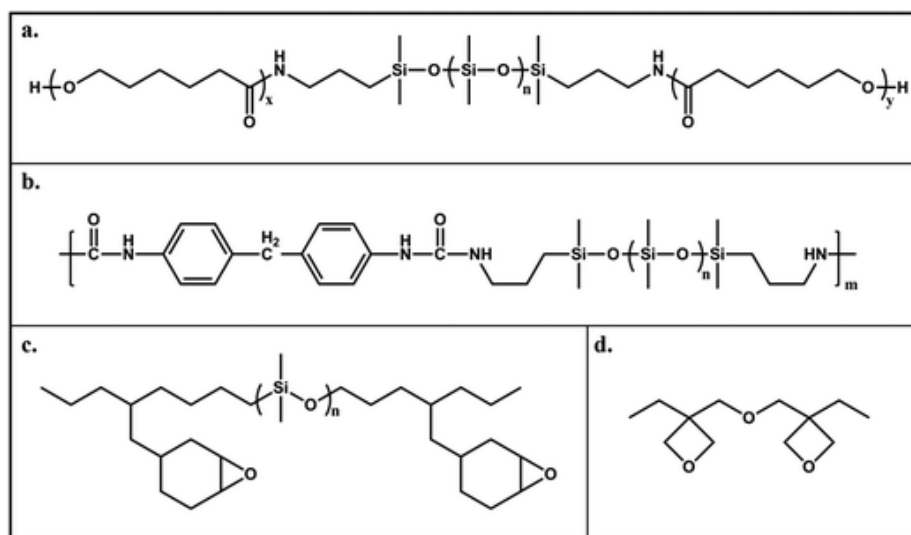


Ilustración 20. Estructuras químicas de los polímeros a,b,c y d. Fuente: “Non-toxic, non-biocide-release antifouling coatings based on molecular structure design for marine applications” por Ayda G.Nurioglu, A. Catarina C. Esteves y Gijbertus de With. 26 de Junio 2015

- a. Poliuretano
- b. Poliurea
- c. Epoxy
- d. Oxetano

En conclusión sobre los compuestos basados en silicona, son los compuestos en el campo de pinturas sin biocidas que tienen más éxito en cuanto a prevención de incrustaciones blandas, sin embargo sigue existiendo el problema de su corta durabilidad a su máximo rendimiento, lo que conlleva la necesidad de desarrollar productos con ciclos de vida más largos .

PINTURAS BASADAS EN FLUOROPOLIMEROS

Los polímeros que contienen grupos flúor son la elección más obvia para las pinturas sin biocidas debido a su baja energía superficial y su estabilidad química. Su energía superficial oscila entre los 10 y los 20 Mn/m. Existe un rango amplio de materiales basados en Fluoropolimeros que son investigados como pinturas sin biocidas. El politetrafluoroetileno (PTFE) o también conocido como teflón comercialmente es uno de los mejores candidatos en su aplicación entre los fluoropolimeros a pinturas antifouling debido a su excelente resistencia ante el pH, la salinidad, rayos UV, temperatura y ante la exposición a componentes orgánicos como disolventes o aceites. Sin embargo presenta limitaciones debido a su insolubilidad en disolventes orgánicos comunes. Además debido a sus micro cavidades, el biofouling puede penetrar y adherirse al sustrato mediante entrelazamientos mecánicos.

Recientemente se ha aprovechado esa porosidad de los PTFE para diseñar pinturas antifouling. Las superficies resbaladizas porosas (SLIPS) a base de membranas porosas de PTFE muestran unas excelentes propiedades anti incrustantes ante bacterias en pruebas durante 7 días en un medio de fluido constante.

A pesar de estos avances en el ámbito de los SLIPS de momento son un planteamiento con amplio campo de mejora. Sin embargo los más empleados en la industria actual son fluorometacrilatos, perfluoroalquilieter (PFPE) y polietilenglicol (PEG).

Las estructuras químicas de los elementos flúor más empleados son las siguientes:

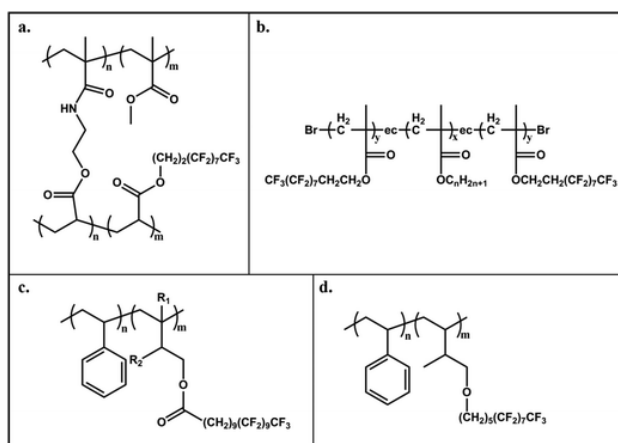


Ilustración 21. Estructuras químicas de los polímeros a, b, c y d. Fuente: “Non-toxica, non-biocide-release antifouling coatings base don molecular structure design for marine applications” por Ayda G.Nurioglu, A. Catarina C. Esteves y Gijsbertus de With. 26 de Junio 2015

- a. Perfluorometacrilato con 2-isopropenil-2-oxazoline
- b. Polialquilmecrilato con 2 perfluorooctil metacrilatos
- c. d. Copolímeros de fluor con cadenas semicristalinas

En la búsqueda más reciente de fluoropolimeros cabe destacar los compuestos que contengan propiedades anfipáticas, es decir, que contienen moléculas que son solubles en agua y moléculas que rechazan el agua, cuya finalidad es la de reducir la interacción entre la superficie y el entorno marino.

COMBINACIÓN DE FLUORUROS Y SILICONA

La combinación de estos dos materiales proporciona un nuevo material anti incrustante que combina la baja energía superficial de los elementos de silicona con la rigidez y la estabilidad química de los enlaces de los grupos flúor.

Estas combinaciones de mezcla de capas producen unas pinturas con unas muy buenas prestaciones a nivel de incrustaciones y un rendimiento mayor ante incrustaciones de tipo alga y organismos tipo concha que las pinturas a base de siliconas.

Existen distintos ejemplos de componentes en cuanto a combinación de fluoruros y siliconas. A continuación se muestran los principales aplicados a las pinturas antifouling.

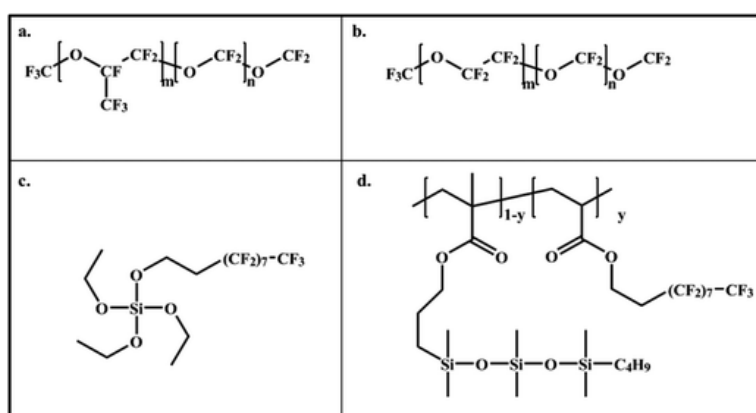


Ilustración 22. Estructura química de los polímeros a, b, c y d. Fuente: “Non-toxic, non-biocide-release antifouling coatings based on molecular structure design for marine applications” por Ayda G.Nurioglu, A. Catarina C. Esteves y Gijsbertus de With. 26 de Junio 2015

- a. Trifluorometil con rama de PFPE
- b. Diorgano linear acabado con PFPE
- c. Fluorado TEOS
- d. Copolimero perfluorado y polisiloxano

PRESENTE Y FUTURO DE PINTURAS SIN BIOCIDAS

En cuanto a las investigaciones actuales y las más venideras, se apuesta por pinturas de propiedades anfífilas, es decir que sean hidrófobas e hidrófilas al mismo tiempo. Esta doble propiedad en las pinturas consiguen crear que los organismos no tengan la intención de adherirse a la superficie y además añaden una resistencia proteínica, factor que dificulta su adhesión, todo en un mismo componente de pintura.

Este tipo de pinturas surgieron a raíz de las investigaciones de Freij Larson sobre el comportamiento en la adsorción de este tipo de polímeros anfífilicos en superficies y sobre los efectos de estos polímeros en la adsorción de ciertas proteínas.

En el futuro se espera que predominen las tecnologías libres de biocidas como las existentes en el mercado actual como por ejemplo Intersleek y derivados de otras marcas como Hempel Silic One.

Según estudios realizados en distintos barcos comerciales han demostrado que este tipo de productos pueden aportar grandes beneficios a sus armadores, suponiendo un gran ahorro en combustible y en mantenimiento.

En la actualidad el producto existente en el mercado más desarrollado es Intersleek, que ha evolucionado en varias fases, desde el 425 hasta el 1100 SR. Este producto ha revolucionado el mercado de la náutica y actualmente se está empleando con gran éxito en embarcaciones de recreo.

EL ÉXITO DE INTERSLEEK

Intersleek es un revestimiento de fluoropolímero, que no libera ningún tipo de biocida. Se basa en una superficie de baja energía, lo que evita que las incrustaciones se adhieran a la superficie. De este modo, se pueden quitar fácilmente con la mano, utilizando esponjas, cepillos de cerdas suaves o cualquier método no agresivo. Si se toca tiene la apariencia y el tacto a la piel de un delfín. Y la frecuencia de la limpieza dependerá de las condiciones de suciedad y del uso que se dé a la embarcación.

Ofrece una superficie lisa que reduce la fricción y proporciona una mejora en el ahorro de combustible, de forma que los buques se benefician en promedio de un 6% más de ahorro de combustible que utilizando pinturas anti incrustantes tradicionales. El menor consumo de combustible también supone una reducción de dióxido de carbono y de las emisiones de dióxido de azufre emitidas a la atmosfera.

Se ha utilizado ampliamente en la industria del transporte marítimo en todos los tipos de buques como graneleros, carga general, petroleros, cruceros, etc. y sus ventajas son muchas. Su peso es menor en comparación a otros antifouling convencionales; no libera biocidas, ni fuera ni dentro del agua; no se gasta la capa y puede durar múltiples temporadas; y es fácil de reparar. Sin embargo, su adopción exige un cambio de mentalidad en el armador, ya que es más caro que un revestimiento convencional y necesita un mantenimiento continuo si la embarcación no se mueve.

Está funcionando con éxito en California, ya que es una práctica bastante normal el que un submarinista limpie los cascos en el puerto mensualmente. En este sentido California tiene una cultura bastante ecológica, y al respecto, se están realizando pruebas por todo el mundo en diferentes tipos de embarcaciones.

Un cambio de mentalidad en este sentido puede ayudar a vivir en un planeta menos contaminado. La evolución de estos productos no acaba aquí, y actualmente se está trabajando en proyectos de nanotecnología y biomecánica (enzimas y proteínas naturales) para desarrollar medios ecológicos anti incrustantes que garanticen efectividad y menor impacto ambiental para futuras generaciones.

COMPARATIVA ENTRE SUPERFICIES TRATADAS CON PINTURAS AUTOPULIMENTABLES Y CON INTERSLEEK

Existe una diferencia considerable entre superficies tratadas con pinturas Autopulimentables o con Intersleek 900. Se aprecia que con Intersleek 900 se puede conseguir una superficie mucho más lisa que con los productos Autopulimentables.

Aquí se puede apreciar, antes y después de lavar a presión, una superficie tratada con intersleek 900 en un velero de regatas. En la primera figura se puede apreciar la rugosidad del sustrato en el que se aplican pinturas Autopulimentables.

En la segunda figura se puede apreciar una superficie mucho más lisa debido al uso de Intersleek 900.

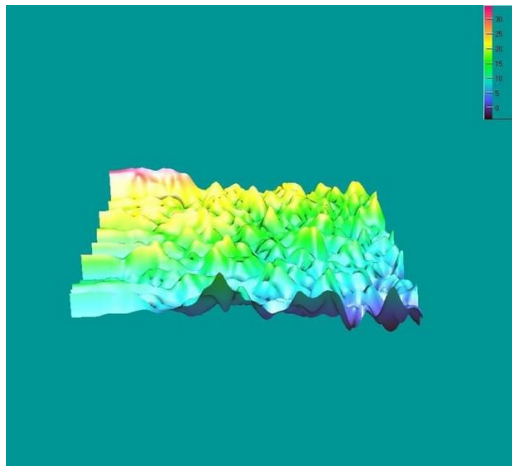


Ilustración 23. Visión de la rugosidad de la superficie tratada con pintura autopulimentable. Fuente:
“Mantenimiento, el futuro de los antifoulings” por Antonio Rodríguez. “Nautica & Yates magazine”

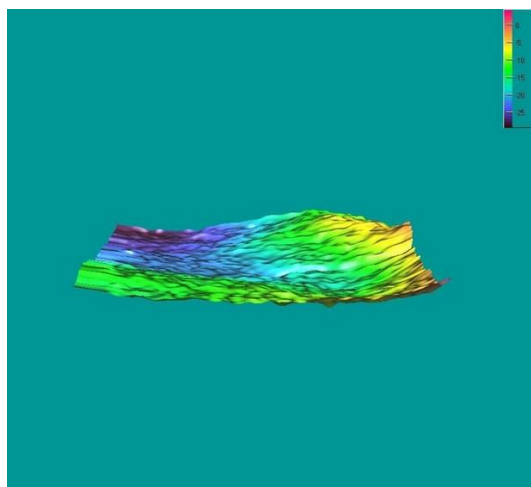


Ilustración 24. Visión de la rugosidad de la superficie tratada con Intersleek 900. Fuente:
“Mantenimiento, el futuro de los antifoulings” por Antonio Rodríguez. “Nautica & Yates magazine”

INTERSLEEK 1100SR

Intersleek 1100SR es el producto más novedoso de la gama Intersleek y con las propiedades más avanzadas en cuanto a las pinturas sin biocidas. Está especialmente diseñado para combatir el problema de las incrustaciones por limos en las embarcaciones. Este producto es la última versión de la categoría de Intersleek que combina grandes prestaciones ante el control del micro y el macrofouling con una resistencia mejorada en aguas tropicales.

Esta nueva patente esta basada en fluoropolimeros que incluso evita la incrustación de limos a bajas velocidades. Como resultante del uso del producto, las embarcaciones reducen el drag y disminuyen el consumo de combustible.

Intersleek 1100SR es el primer producto en la industria en aplicar una tecnología libre de biocidas mediante el uso de fluoropolimeros.

HEMPEL SILIC ONE

Por parte de los fabricantes de Hempel, ha salido recientemente al mercado Hempel Silic One que emplea un sistema antiadherente sin biocidas basado en la silicona y el hidrogel, los cuales confieren al área de pintado propiedades acuosas que dificultan la adhesión al casco de los organismos responsables de las incrustaciones, que a su vez facilita su eliminación cuando la embarcación está en movimiento. Otras de sus ventajas son la facilidad de limpieza de las incrustaciones y la sencillez de repintado, que ayudan a reducir costes a largo plazo. La tecnología de Silic One consiste en:

- Pintura sin biocidas que evita las incrustaciones
- Pintura antiadherente
- Sin cobre

El hidrogel está basado en polímeros únicos no reactivos que se añaden a la pintura, creando una barrera invisible entre la superficie del casco y el agua. Los organismos causantes de las incrustaciones perciben el casco como si fuese un líquido y, en consecuencia, el índice de incrustaciones es mucho menor.

Capítulo 3. Otras tecnologías antifouling

En este capítulo se dan a conocer otros métodos alternativos a las pinturas que se están empleando en la actualidad y que se están extendiendo por el mercado de las tecnologías para combatir el problema del fouling y por tanto, merece la pena explicarlos. Uno de los más importantes es de un sistema antifouling empleando ultrasonidos.

El principio de antifouling con ultrasonidos se basa en hacer vibrar el casco de la embarcación a frecuencias ultrasónicas (de 20000 a 50000 vibraciones por segundo). Estas vibraciones son imperceptibles para el ser humano, ya que el casco se desplaza milésimas de milímetro, pero son suficientes para que el casco sea una superficie hostil para cualquier microorganismo que intente adherirse a él.

Los ultrasonidos forman parte de una reciente tecnología que sirve para que el caso de las embarcaciones no se ensucien y ayuda a que permanezcan durante más tiempo libre de organismos e incrustaciones.



Ilustración 25. Funcionamiento de antifouling por ultrasonidos. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE

Se recomienda combinar el sistema por ultrasonidos con pinturas antifouling para mayor efectividad y mantener el casco de la embarcación en perfecto estado durante por lo menos tres o cuatro años. En el caso de que la pintura antifouling pierda sus propiedades el sistema por ultrasonidos seguirá manteniendo la embarcación libre de organismos marinos.

En los múltiples ensayos que se han realizado, se ha podido comprobar que aplicando ultrasonidos a los cascos de las embarcaciones a frecuencias ultrasónicas determinadas, se elimina el problema de las incrustaciones y además no afecta a la estructura ni al rendimiento del casco.

Esto es debido a que los microorganismos marinos no se pueden desarrollar en una superficie que está sujeta a señales ultrasónicas.

La vibración producida por los ultrasonidos se ha adecuado para no perjudicar a ningún elemento de la embarcación ni tampoco a la fauna marina.

Se trabaja con amplitudes de micras (milésimas de milímetros), no obstante estas amplitudes son suficientes para que los organismos no se desarrollen en los cascos de las embarcaciones.

El sistema de antifouling con ultrasonido protege cualquier zona que de algún modo esté en contacto con el casco, colas, hélices, orza, etc. Se ha de tener en cuenta que las vibraciones generadas por los transductores será más difícil de alcanzar en estas zonas.

3.1. EQUIPOS

El sistema antifouling ultrasónico se compone de una unidad de control, transductores y cables de cobre que unen la unidad de control con el transductor.

3.1.1. UNIDAD DE CONTROL

Es un programa único de frecuencias y armónicos específicos diseñado para eliminar diversos organismos incrustantes.

El nivel continuo y preciso del ultrasonido se transmite de forma eficaz al transductor. Cuando se utilizan dos o más sistemas de transductores, las ondas sonoras protegen su casco desde todos los transductores de forma simultánea.

3.1.2. TRANSDUCTOR

Los transductores reciben las señales emitidas de la unidad de control y las propaga en forma de vibraciones por todo el casco del buque para maneterlo a salvo de las incrustaciones.



Ilustración 26. Equipos empleados en el sistema por ultrasonidos. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE

3.2. INSTALACIÓN

El sistema es fácil de instalar y el propio usuario de la embarcación puede realizar la instalación mediante las instrucciones donde se detallan los pasos.

No es necesario que el equipo esté sometido siempre a la batería de la embarcación. Se puede elegir entre conectar a la batería de la embarcación o conectarlo a la toma del puerto mediante el alimentador que suministra a los otros equipos. Pero sí es necesario que el sistema esté siempre conectado mientras el barco no está en movimiento.

Existen transductores que vienen con sistema de placa solar, que incluyen una batería y un controlador que auto gestiona la energía para mantener bajo protección la embarcación, incluso en largos periodos de poca irradiación solar.

Tampoco es necesario sacar la embarcación fuera del agua para poder instalar el sistema ya que no se requiere perforar en la obra viva de la embarcación.

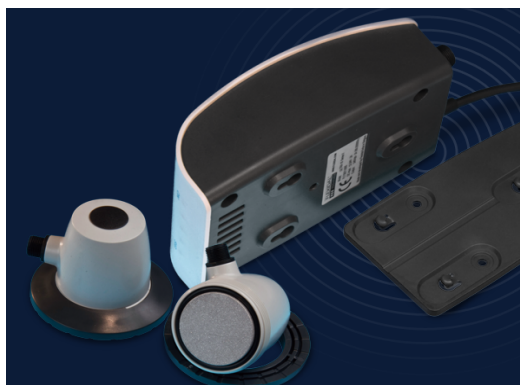


Ilustración 27. Transductor. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE

3.2.1. TIEMPO DE INSTALACIÓN

El tiempo total para realizar la instalación dependerá del tamaño y tipo de barco y del sistema que se haya adquirido. La instalación solamente requiere colocar uno o dos anillos de montaje para el transductor en la parte interior del casco con resina epoxi y una caja de mando atornillada a un mamparo adyacente. No debería llevar más de 3 o 4 horas, aunque se recomienda que cuando se hayan colocado los anillos de montaje para el transductor se dejen asentarse durante unas 24 horas hasta que estén completamente secos.

3.2.2. POSICIÓN DEL TRANSDUCTOR

Se debe colocar en la obra viva de la embarcación, en el caso que la embarcación sea de doble casco o tipo “sándwich” se han de encontrar zonas para acceder a la obra viva. En las embarcaciones donde no tengan ningún modo de acceso al casco exterior, se deberán buscar las zonas donde los dos cascos se juntan, sino realizar un agujero en el interior para poder colocar el transductor en el casco exterior.

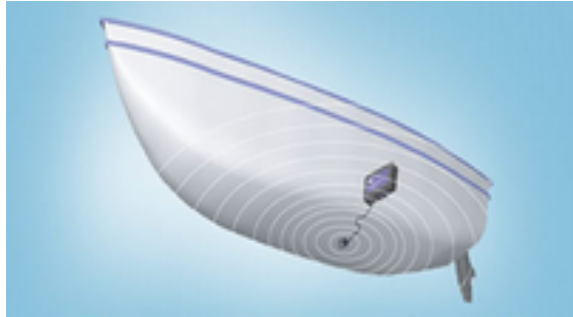


Ilustración 28. Localización del transductor en embarcación de doble casco. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE

En el caso de que la embarcación tenga más de dos cascos se deberá colocar transductores para cada casco. El sistema antifouling ultrasónico se basa en vibraciones que se propagan por el casco, no a través del agua.

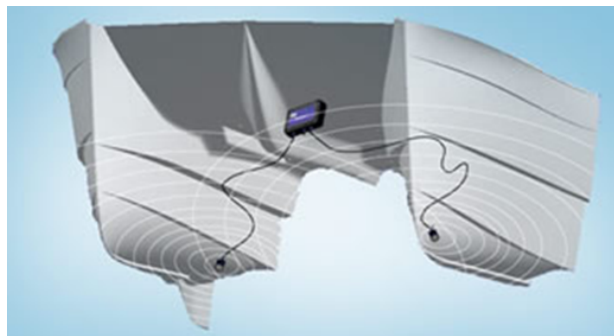


Ilustración 29. Localización de transductor en caso general. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE

La posición del transductor dependerá de los números de transductores que se quiera colocar. En el caso de emplear un solo transductor, éste deberá colocarse cerca de la hélice y del eje para ayudar a proteger estas piezas aisladas.

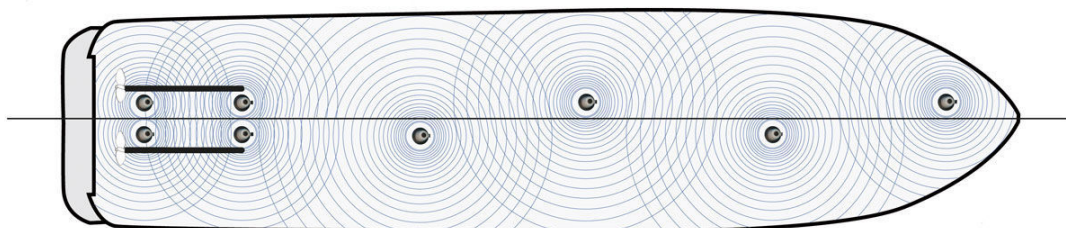


Ilustración 30. Localización de los transductores adicionales. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE

Los transductores adicionales se han de colocar hacia adelante dependiendo de la eslora del barco. Los transductores deben colocarse en una parte sólida del casco y lejos de las estructuras, tirantes y mamparos del mismo para evitar áreas que puedan tener capas con pequeñas bolsas de aire o juntas.

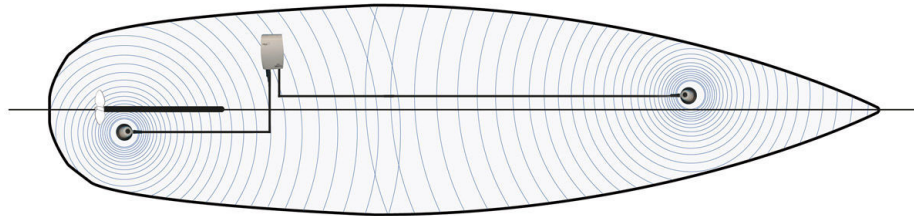


Ilustración 31. Propagación de las ondas con 2 transductores. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE

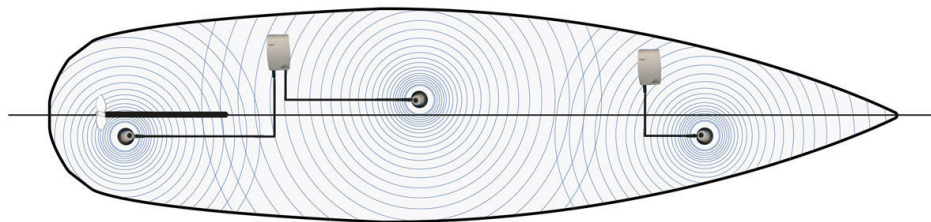


Ilustración 32. Propagación de las ondas con 3 transductores. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE

La embarcación tipo catamarán o trimarán tiene una manga menor que las embarcaciones monocasco, de modo que para proteger cada casco de un catamarán o trimarán se utilizarán menos transductores que en el caso de una embarcación monocasco.

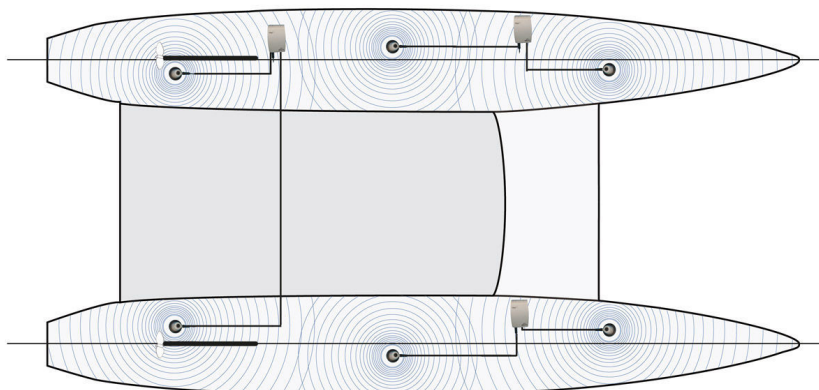


Ilustración 33. Colocación y propagación transductores en un catamarán. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE



Ilustración 34. Distribución de transductores en buques mercantes. Fuente: SONIHULL Ultrasonic Antifouling system NRG MARINE

Cabe destacar que el sistema antifouling funciona perfectamente en los cascos de fibra de vidrio, pero en los cascos metálicos su efectividad es mayor. En los cascos de madera no funcionan. Esto es debido a que las vibraciones se propagan a través del casco y la madera es un material que las absorbe, de modo que es imposible propagarlas.

3.3. OTRAS TECNOLOGÍAS EN AUGE

Existen otros sistemas alternativos para las zonas donde existe una gran acumulación de fouling, como por ejemplo en las tomas de mar, sistemas de refrigeración de agua salada entre otras localizaciones. Es el caso de los sistemas MME Marine Growth Prevention System (MGPS), que se basa en las corrientes imprimidas.

Su funcionamiento consiste en el empleo de corrientes, mediante el uso de ánodos de sacrificio y cátodos de acero que están conectados a un rectificador eléctrico con un controlador. El sistema genera iones de cobre principalmente mediante electrólisis en agua salada, estos iones fluyen en el sistema creando así un ambiente el cual repele la adhesión de microorganismos. Los ánodos de sacrificio empleados suelen ser de hierro o aluminio, que suelen reemplazarse cada vez que la embarcación está en dique seco.

Las principales ventajas del sistema por corrientes imprimidas son:

- Protección dual ante la corrosión y ante el fouling
- Fácil instalación
- Fácil mantenimiento
- Abarcan distintos tipos de embarcaciones y de distintas esloras

El esquema de su funcionamiento sería el siguiente:

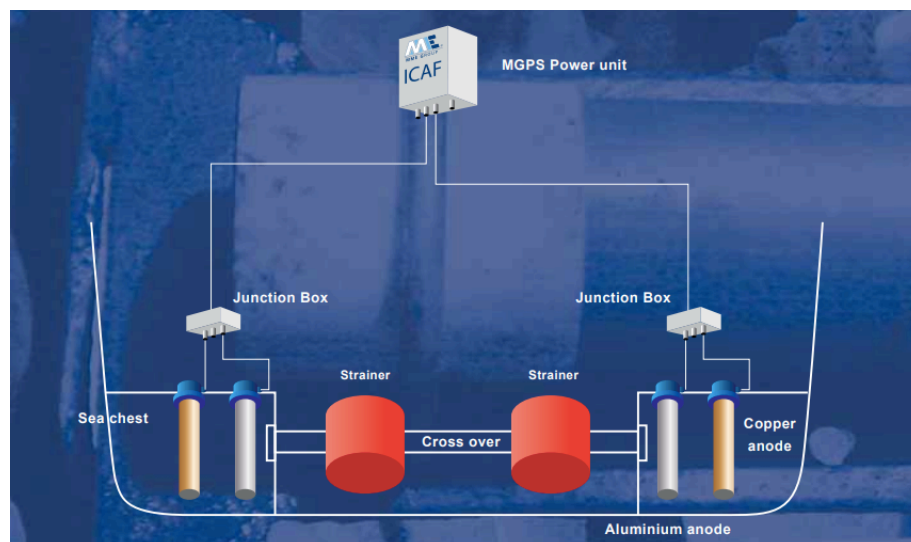


Ilustración 35. Esquema de funcionamiento del MGPS. Fuente: MME Group "A longer life"

Capítulo 4. Normativa aplicada a los productos antifouling

4.1. MARCO LEGAL SOBRE LAS PINTURAS ANTIFOULING EN LA NÁUTICA

El biofouling marino presente en las embarcaciones, en los equipos marinos y estructuras está reconocido como un portador muy importante de plagas a ecosistemas impropios de ciertas especies. Siguiendo las instrucciones de ciertos informes sobre las incrustaciones inspeccionadas en distintos gobiernos se crean distintos códigos acerca del biofouling y de las pinturas anti incrustantes.

El primer paso en este proceso fue considerar el necesario desarrollo de las prestaciones de los antifouling a través de constantes evaluaciones en las infraestructuras para así obtener sus respectivas aprobaciones y verificaciones en el mercado laboral.

4.2. ESTRUCTURA DEL INFORME

Estos informes creados para evitar la propagación del fouling en ecosistema marino ajeno a la especie y para mejorar las propiedades de los anti incrustantes se dividen en 4 componentes, cuya finalidad es que las embarcaciones que navegan entre costas estén dotadas de una correcta protección ante los organismos creadores de incrustaciones.

Supervisión de los productos. La existencia necesaria de unos terceros encargados de supervisar que cada pintura antifouling concuerde con sus regulaciones en cuanto a su aplicación, mantenimiento, ...

Certificado de validez. La disposición de un sistema que certifique que una pintura antifouling se usa correctamente y la calidad de éste sea la apropiada para que se mantengan intactas sus propiedades anti incrustantes.

Sistema de aprobación del producto. La disponibilidad o desarrollo de un sistema para verificar o aprobar la eficacia y rendimiento de los productos antifouling.

Especificaciones de productos antifouling. El Rendimiento de las pinturas antifouling ha de ser funcional a todo tipo de tratamientos de la obra viva del casco que abarca tratamientos con pinturas con biocida y sin biocida. Estas especificaciones han de ser vigentes con todo tipo de embarcaciones que puedan suponer un riesgo de translocación de especies marinas en los cascos, incluyendo embarcaciones de recreo, embarcaciones comerciales y infraestructuras móviles. Las normativas han de considerar a las pinturas antifouling no simplemente como productos sino como una actividad de un sistema con sus características correspondientes y un uso correcto de estos elementos.

Resultados de la investigación en la necesidad de adoptar nuevos sistemas se desarrollan en análisis previo, consulta a organismos, síntesis y recomendaciones.

NORMATIVA VIGENTE SOBRE PRODUCTOS ANTIFOULING, CERTIFICADO Y ESTANDARIZACIÓN

La primera incursión de la IMO en la regulación de temas relacionados con el antifouling fue en 1990 mediante el comité de protección medioambiental para prohibir o limitar el uso de las pinturas que contenían altos niveles de componentes organoestánicos. La solución recomendada que adoptaron los gobiernos fue eliminar el uso de pinturas antifouling que contenían TBT (Tributilo de estaño) en las embarcaciones menores de 25 m con cascos que no fuesen de aluminio y eliminar el uso de pinturas antifouling cuya velocidad de lixiviación fuese de más de 4 microgramos de TBT por día.

La IMO acogió el 5 de octubre de 2001 la convención sobre el control del daño de los sistemas antifouling en buques. Esta convención implementó la prohibición del uso de componentes organoestánicos a partir del 1 de enero de 2003. Más adelante, a partir del 1 de enero de 2008 se prohibiría el uso de TBT en todos los cascos.

Esta convención se aplica a los barcos que ondean bandera la cual su institución ratifica su colaboración con el convenio.

El certificado de aprobación de los métodos empleados en el antifouling se ha de obtener mediante la International Antifouling System (IAS), también cuando se ha de renovar el permiso.

Para la aprobación del certificado por la IAS, se realizarán inspecciones mediante los partidos de la convención como parte de los Port State Control (PSC). Las embarcaciones que no cumplan con las especificaciones de la resolución de la convención pueden llegar a estar detenidos, expulsados o excluidos de todos los puertos que cumplen con la jurisdicción establecida.

La mayoría de los gobiernos de estado prohibieron el uso de los TBT en embarcaciones menores de 25 m de eslora y limitaron la velocidad de lixiviación de TBT en embarcaciones mayores de 25 m de eslora.

ROL DE LAS SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN

Las Sociedades de Clasificación se establecieron en 1760 cuando la sociedad de registro se formó con los clientes de una cafetería y se creó Lloyd's cuya función fuese proporcionar a los mercaderes y a las compañías de seguros información sobre las condiciones de las embarcaciones.

El rol de las sociedades de clasificación ha ido evolucionando constantemente al paso de los años.

Las Sociedades de Clasificación tradicionalmente se han mostrado al margen en cuanto a pinturas, exceptuando casos de requerimientos especiales para pinturas de tanque de lastre para minimizar la corrosión. Sin embargo, desde la llegada de la Convención Antifouling, las Sociedades están llegando a acuerdos para ayudar a los armadores de embarcaciones que están bajo sociedad de clasificación para cumplir con la convención.

El comité por la protección del medio ambiente marino (MEPC) de la OMI ha emitido una serie de directrices para las inspecciones y los certificados de antifoulings en una embarcación. Estas directrices indican que las inspecciones de las embarcaciones serán realizadas por el país del cual muestra procedencia la bandera de la embarcación.

Las embarcaciones obtendrán un certificado IAS una vez cumplan los requisitos de la convención.

El certificado de cumplimiento es buscado por todos los armadores de las embarcaciones y propietarios, cosa que demuestra lo concienciada que está la sociedad ante este factor de las pinturas antifouling. Det Norske Veritas ofrece la entrega de esta documentación en el primer atraque de la embarcación. En su web ofrece los requisitos y características que ha de tener el sistema antifouling.

4.3. NORMATIVA DNV SISTEMAS ANTIFOULING

INTRODUCCIÓN

Se emplea la normativa Det Norske Veritas [4] para conocer las condiciones y requerimientos necesarios para cumplir con los acuerdos.

Es una normativa muy empleada en tanto universidades como en astilleros y es una de las sociedades de clasificación con mejor reputación actual. Todas las sociedades de clasificación mantienen criterio común en el ámbito de los sistemas antifouling, de modo que prácticamente es igual en todas las sociedades de clasificación.

OBJETIVO

El objetivo de aplicación de esta normativa es el de describir la aprobación de Tipo (TA) para los sistemas antifouling. Los requerimientos para la obtención del certificado por parte de DNV están recogidos en el CP 0338. El procedimiento descrito en este CP es aplicable para la obtención del certificado de aprobación.

ALCANCE

El CP describe los procesos y requerimientos en relación a la documentación, diseño y tipo de antifouling a emplear.

El trámite de obtención del certificado consta de varios aspectos tales como el tipo de antifouling en condiciones líquidas y una vez aplicado según las recomendaciones del fabricante. Sin embargo, los controles de calidad durante la preparación de la superficie y la aplicación de la pintura no están incluidas en la aprobación.

El certificado otorgado por la sociedad está limitado a un solo fabricante.

TYPE APPROVAL CERTIFICATE (TAC)

La obtención del certificado Tipo (TAC) confirma el cumplimiento de la norma del producto con los requerimientos establecidos para el producto.

Este certificado confirma la aprobación y la conformidad de los requisitos específicos en el diseño de materiales, productos y sistemas.

DOCUMENTACIÓN NECESARIA

Para la obtención del certificado de aprobación por parte de la Sociedad de Clasificación en este caso DNV, se ha de presentar una serie de documentos por el fabricante.

Se ha de elaborar una lista conforme el producto con sus respectivos datos:

- I. Designación tipo, es decir el nombre del producto (grado) con una lista de variantes incluidas en el certificado TA de la normativa de DNV
- II. Descripción del producto (ID del producto, número y tipo de componentes, color, consistencia, etc.)
- III. Campo de aplicación y limitaciones del producto
- IV. Especificaciones del producto que contenga:
 - Nombre de marca del producto antifouling
 - Tipo de sistema antifouling, si es autopulimentable, matriz dura, matriz blanda, silicona, etc.
 - Documentación del elemento antifouling, si actúa como biocida o si es perjudicial para la vida orgánica
 - Tipo de adhesivo
 - Contenido de sólidos
 - Viscosidad
 - Biocidas activos
 - Temperatura de servicio
 - Limitaciones operacionales
 - Limitaciones relacionadas con la humedad
 - Métodos de aplicación
 - Rango de temperaturas para la aplicación
 - Instrucciones para repintar
 - Tiempo de secado del producto
- V. Descripción del fabricante
- VI. Descripción del control de calidad incluyendo copias de certificados con el número de expediente y fecha
- VII. Resultados de test con referencias a los estándares, métodos e información relevante para el certificado
- VIII. Información relevante sobre el empaquetamiento
- IX. Experiencia en servicio si se dispone de ella
- X. Resultados experimentados sobre el producto y un breve reporte sobre su funcionalidad en la evaluación inicial

4.4. REQUERIMIENTOS GENERALES

El fabricante ha de presentar un producto acorde con las normas de la ISO 9001 [5] o equivalente. El control de calidad ha de pasar por la siguiente lista de especificaciones:

- Control de material
- Control de calidad de los métodos, cantidades y equipamiento empleado ha de tener estándar en ISO
- Trazabilidad y sistema de marcado
- Condición de almacenamiento y proceso

REQUERIMIENTOS Y PRUEBAS DE LABORATORIO

La condición para el certificado de aprobación es que el total de estaño sea menor del 0,25% por peso en la capa seca.

Si el total de contenido en estaño es superior al 0,25% por peso en la capa seca se necesitará un test de laboratorio adicional. El certificado de aprobación solo se entregará si el estaño no es empleado como biocida.

Se añadirán a los test una prueba de secado para corroborar la funcionalidad, añadiendo prueba húmeda de modo opcional. La prueba de secado consistirá en:

1. Realizar una muestra aplicando la pintura en una lámina de plástico o similar de unos 10 x 10 cm
2. Dejar secar durante 2 días o más a unos 20 °C o más y cubrirlo con un plástico blando
3. La pintura ha de ser retirada en presencia de un perito de la Sociedad de Clasificación
4. La prueba opcional consiste en una muestra mojada de 100 ml del recipiente de pintura.

REQUERIMIENTOS PARA EL ROTULADO DE PRODUCTO

Todo el empaquetamiento ha de ser marcado y ha de contraer la siguiente información:

- ✓ Nombre del fabricante y logo
- ✓ Dirección de la empresa del fabricante
- ✓ Tipo de designación
- ✓ Tipo de sistema antifouling
- ✓ Instrucciones de almacenamiento
- ✓ Fecha de fabricación
- ✓ Número de lote

El rotulado ha de ir de la mejor forma en cuanto a visibilidad, legibilidad e indeleble.

En cuanto a la clasificación en la normativa estándar están reconocidos dos categorías, con biocidas y sin biocidas. Dentro de las pinturas con biocidas se pueden clasificar en matriz dura, blanda y autopulimentables.

Según los criterios en el rendimiento de cada sistema se especifican las siguientes categorías para su clasificación:

Duración en uso: 12 / 24 / 36 / 60 meses

Actividad del buque: Estático / baja / alta

Velocidad del buque: Baja (<10 Kn), Moderada (10-20 Kn), Alta (>25 Kn)

Material del casco: Compuestos / Madera / Acero / Aluminio / Caucho

Riesgo de fouling en ambiente: Bajo / Alto

Para la clasificación de los productos antifouling alrededor del mundo se adopta el sistema empleado dentro de la Armada de los Estados Unidos que muestra una clasificación de los productos antifouling según sus especificaciones y rendimiento. A raíz de este sistema la clasificación sería la siguiente:

TIPO DE PRODUCTO

Tipo I. Última capa de pintura ablativa (Con biocidas)

Tipo II. Última capa de pintura no-ablativa (Con biocidas)

Tipo III. Última capa de pintura no-ablativa (Sin biocidas)

CLASE DE PRODUCTO

1. Apto para uso en materiales compuestos
2. Apto para uso en madera
3. Apto para uso en metales a excepción de aluminio
4. Apto para uso en metales incluyendo aluminio
5. Apto para uso en caucho

GRADO DE PRODUCTO

- A. Para embarcaciones más estáticas y estructuras
- B. Para embarcaciones de poca actividad
- C. Para embarcaciones de alta actividad
- D. Para embarcaciones de baja velocidad (<10 nudos)
- E. Para embarcaciones de mediana velocidad (10-20 nudos)
- F. Para embarcaciones de alta velocidad (>25 nudos)

SISTEMA DE APLICACIÓN

- a. Cada 12 meses
- b. Cada 24 meses
- c. Cada 36 meses
- d. Cada 60 meses

Para el certificado de un tipo de pintura se procedería a seguir con la lista anterior de modo que un producto en concreto sería por ejemplo certificado como Tipo I, Clases 1,2,3 & 5, Grados B & D, Aplicación c.

De este modo es más sencillo clasificar el producto y conocer las propiedades del producto.

4.5 ESPECIFICACIONES/RENDIMIENTO DE PRODUCTOS SEGÚN EL TIPO

SISTEMAS QUE EMPLEAN BIOCIDAS (TIPO I Y II)

Estos productos se testan mediante el método AS 1580.481.5. Para obtener el certificado estándar, no se debería de encontrar fouling persistente en 12 meses en temperatura y aire tropical. Para los productos de tipo I en especial los que contengan grados C y F se ha de asegurar que cumplen con los 12 meses de duración de protección establecidos por el fabricante.

Para los productos de tipo II con aplicaciones b o superiores se han de realizar test con el mismo método anterior de AS 1580.481.5. Para este tipo de producto, las aplicaciones mayores que una aplicación 'a' requiere un sistema técnico de especificación y aplicación.

Las pinturas de tipo I para aplicaciones 'b' o superior requieren una combinación de pruebas estáticas y dinámicas estableciendo un ciclo dinámico de condiciones estáticas y/o cuantificar el grado de ablación a velocidades normales.

SISTEMAS SIN BIOCIDAS (TIPO III)

Con el reciente desarrollo de pinturas sin biocidas se han expuesto vacíos legales en las normativas existentes en cuanto a las pinturas antifouling.

El método más apropiado para probar este tipo de pinturas sería exponiéndolas a fouling marino y determinar la dificultad que tiene el fouling para adherirse. Según las especificaciones del producto se estimarían unos resultados aproximados.

La Armada estadounidense sigue estas pautas de ciclos de inmersión de material con estas pinturas en canales de ensayo y sus posteriores observaciones en cuanto a las propiedades del producto empleado.

Algunos sistemas antifouling sin biocidas como las pinturas de *Fibreflock* supuestamente han de deteriorar el fouling. Para evaluar este deterioro sobre el fouling se realizan pruebas con el método AS1580.

Capítulo 5. Costes adicionales debidos al biofouling

5.1. INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO

Las incrustaciones en el casco de las embarcaciones cuesta a la industria naval unos mil millones de dólares cada año en cuanto a exceso de combustible, según Claes Skat-Rørdam, el director de marketing del fabricante de pinturas danés Hempel. Refiriéndose a la Conferencia Marítimo Técnica celebrada en Copenhague en Octubre de 2015, citó cifras obtenidas de DNV GL (basando esos datos en los obtenidos de en la Coalición de Embarque) tan altas como 30 mil millones de dólares al año.

Estas cifras sin embargo están basadas en un precio de combustible de 500 dólares la tonelada.

Las capas de pintura antifouling son el elemento que hace que una embarcación sea eficiente. Según el Sr. Skat-Rørdam, El fouling presente en el casco de una embarcación puede añadir un aumento del 2% en cuanto a consumo de combustible. Si se busca ahorrar en gran cantidad en una embarcación, se ha de aplicar una capa de pintura antifouling de buena calidad.

Muchos de los propietarios optan por escoger la capa de pintura más económica y ahorrar en ese aspecto ya que es el armador el que paga el combustible. Sin embargo últimamente los armadores están siendo más cuidadosos a la hora de comprar el combustible para la embarcación. Para ello se aconseja emplear una capa apropiada para la embarcación concreta ya que no todos los antifoulings funcionan igual en todos los barcos sino que para cada tipo de embarcación existe una pintura antifouling que presentará mejores propiedades.

5.2. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA DETERMINAR EL COSTE

En el año 2000 se adoptó una metodología [6] para determinar el coste extra que conlleva el tener una embarcación con incrustaciones y así observar las ventajas y beneficios de los sistemas antifouling. La información empleada para elaborar este método ha sido obtenida de representantes de compañías navieras y de industrias fabricantes de este tipo de pinturas, además de información de astilleros de India.

Es necesario conocer el coste adicional que supone viajar con una embarcación con fouling incorporado para determinar el coste de los sistemas antifouling. De ahí la importancia de obtener datos sobre las embarcaciones para comparar sus costes operativos con y sin incrustaciones antes de ponerlas en el dique seco.

Los costes adicionales producidos por el fouling más importantes que se estudian a continuación son el aumento de combustible, los costes de operación en velocidades reducidas de la embarcación, costes operacionales de la embarcación en dique seco, costes en las distintas pinturas a emplear, etc.

Para el estudio del rendimiento de las pinturas antifouling se comparan las prestaciones de los barcos sin adhesión de fouling antes del dique seco y con embarcaciones que llevan consigo incrustaciones. Los

parámetros como costes operacionales diarios, estancia en dique seco y consumo de combustible son los utilizados en la comparación.

5.2.1. COSTE OPERACIONAL DIARIO

Los datos para el coste operacional diario (DOC) se pueden obtener para embarcaciones individuales de la industria naval. DOC incluye datos como los salarios de la tripulación, reparaciones, recambios, inspecciones periódicas, diésel, aseguradoras, costes administrativos, miscelánea y costes de amortización.

5.2.2. COSTE OPERACIONAL ADICIONAL DEBIDO AL FOULING

Los costes adicionales debidos al fouling incluyen el aumento del consumo de combustible debido a la disminución de la velocidad del buque por las incrustaciones. Estos costes adicionales se calculan mediante la siguiente formula:

$$CA = Csp + Cfc$$

En la que CA son los costes adicionales debidos al fouling, Csp es el aumento de coste debido a la pérdida de velocidad y Cfc es el aumento del coste del consumo de combustible.

I. CÁLCULO DE AUMENTO DE COSTE DEBIDO A LA PÉRDIDA DE VELOCIDAD (CSP)

Se asume que un buque moviéndose a 1 nudo (kn) de velocidad viaja a 1 milla por hora (establecido por la industria naval). En consecuencia, se puede calcular la pérdida de velocidad durante un día. Para realizar el siguiente cálculo se ha de aplicar la lógica de a menor velocidad debido al fouling significará más tiempo de navegación por tanto más días en alta mar, de modo que para obtener el Csp se multiplica el número de días aumentados debido a la pérdida en velocidad por el coste operacional diario del buque (DOC) tal y como se muestra en la siguiente formula:

$$Csp = DOC * Di$$

En la que Csp es el coste debido a la pérdida de velocidad, DOC es el coste operacional diario del buque y Di son el número de días aumentados por las pérdidas en velocidad.

II. CÁLCULO DE AUMENTO DE COSTE DEBIDO AL AUMENTO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE (Cfc)

El aumento de consumo de combustible y en consecuencia el aumento del coste de éste se calculan mediante la cantidad de fuel extra necesario y el precio de éste. Para estudiar el aumento de combustible debido al fouling (Cfc) se calculan los dos tipos de fuel empleados como son el Fuel-Oil y el Diésel-Oil. Su precio debido a la extracción de datos de la India rondaba 33600 rupias/tonelada equivalentes a unos 490

dólares/tonelada y 46200 rupias/toneladas equivalentes a unos 670 dólares/tonelada en cuanto al Diésel-Oil.

5.2.3. COSTE DEL DIQUE SECO

El fouling reduce el intervalo de tiempo que ha de pasar en el dique seco una embarcación. El realizar una estancia en dique seco adicional suele ocurrir debido a la cantidad de fouling en el casco.

El coste del dique seco incluye también el coste operacional diario del barco durante los días que está en dique seco. Por tanto el coste total seria el siguiente:

$$Cds = Eds + (DOCds * Dd)$$

En la que Cds es el coste total del dique seco, Eds son los costes por entrar en dique seco, DOCds es el coste operacional diario durante el dique seco y Dd son el número de días requeridos de estancia en dique seco.

5.2.4. PÉRDIDAS DE RÉDITO DEBIDO AL FOULING

Las pérdidas de rédito debidas al fouling incluyen las pérdidas ocasionadas por la reducción de velocidad y las pérdidas ocasionadas por la estancia en dique seco. Para el cálculo de estos parámetros se aplica la siguiente fórmula:

$$LRf = LRsp + Ldd$$

Donde LRf son las pérdidas de rédito debidas al fouling, LRsp son las pérdidas de rédito debidas a la reducción de velocidad de la embarcación y LRdd son las pérdidas de rédito durante la estancia en dique seco.

A. PÉRDIDAS DE RÉDITO DEBIDAS A LA REDUCCIÓN DE VELOCIDAD DE LA EMBARCACIÓN LRSP

Se calculan mediante:

$$LRsp = FR * d$$

Donde LRsp son las Pérdidas de rédito debidas a la reducción de velocidad de la embarcación, FR es el fletamento por viaje y d es el aumento de días de viaje debido a la reducción de velocidad.

B. PÉRDIDA DE RÉDITO DURANTE LA ESTANCIA EN DIQUE SECO

Durante el periodo de dique seco las embarcaciones permanecen inoperantes. De modo que el armador del barco pierde rédito. Como los fletamentos por viaje están en auge, este hecho crea disconformidad en el sector naval. Estas pérdidas se cuantifican del siguiente modo:

$$Ldd = FR * Dd$$

Donde Ldd son las pérdidas de rédito durante la estancia en dique seco, FR son los fletamentos por viaje y Dd es el número de días requeridos de estancia en dique seco de la embarcación.

5.2.5. COSTE TOTAL DEL FOULING

El coste total ocasionado por el fouling se puede calcular como el sumatorio de todos los costes adicionales mostrados anteriormente; que son el aumento de coste debido a la pérdida de velocidad, aumento de coste debido al aumento de consumo de combustible, coste total del dique seco y pérdidas de rédito debido al fouling.

De modo que:

$$CA = Csp + Cfc + Cds + LRf$$

Donde:

CA es el coste adicional debido al fouling

Csp es el aumento de coste debido a la pérdida de velocidad

Cfc es el aumento de coste debido al aumento de consumo de combustible

Cds es el coste total del dique seco

LRf son las pérdidas de rédito debido al fouling

Por tanto el coste del fouling (**CF**) es una función de distintos factores y se calcula de la siguiente manera:

$$CF = (DOC * di) + Cfc + Eds + (DOCds * dd) + (FR * di) + (FR * dd)$$

Donde:

DOC es el coste operacional diario del buque

Di son el número de días aumentados por las pérdidas en velocidad

Cfc es el aumento de coste debido al aumento de consumo de combustible

Eds son los costes por entrar en dique seco

DOCds es el coste operacional diario durante el dique seco

Dd son el número de días requeridos de estancia en dique seco

FR es el fletamento por viaje

La eficiencia de los sistemas antifouling es proporcionalmente inversa al coste causado por el fouling. Por tanto la eficiencia se puede medir mediante:

$$E \propto \frac{1}{\sum CF_i}$$
$$E = K * CF$$

Donde K es una constante y CF es el coste del fouling calculado anteriormente como el sumatorio de costes.

5.3. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MÉTODO A EMBARCACIONES

El anterior método ha sido aplicado a 120 embarcaciones para determinar el coste que conlleva el fouling. Para la obtención de datos de las distintas embarcaciones se realizaron cuestionarios a los responsables de empresas fabricantes de pinturas en el ámbito naval para obtener datos más precisos y se organizaron mediante hojas de datos Excel.

Las embarcaciones seleccionadas para el análisis quedan en un rango de 150 m hasta 250 m de eslora y con TRB (Toneladas de Registrado Bruto) desde 20.000 hasta 40.000.

Este rango de características fue el seleccionado debido a que la Convención de Sistemas Antifouling es aplicable a embarcaciones por encima de 400 TRB. Más adelante como objetivo del análisis se clasificaran en 3 categorías en función del coste debido a sus TRB's.

5.3.1. ANÁLISIS DE LOS DATOS

COSTE OPERACIONAL DIARIO (DOC)

Los datos empleados para el coste operacional diario de los buques se obtienen de la industria naval. Como se ha mencionado anteriormente, DOC incluye los salarios de la tripulación, reparaciones, aseguradoras, costes administración,...

En la siguiente tabla se muestran los costes de cada buque en función de su TRB

Tabla 2. Coste operacional diario de las embarcaciones. Fuente: Propia, Basado en "A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship's hull" por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015

Embarcación (TRB)	Coste operacional diario (DOC)(dólares)
Menos de 20.000	5.730
20.000-30.000	6.606
Más de 30.000	11.275

COSTE ADICIONAL DEBIDO AL FOULING

A. INCREMENTO DEL COSTE DEBIDO A LA REDUCCIÓN DE VELOCIDAD

Para calcular los costes adicionales debidos al fouling existente en el casco se emplea una velocidad media normal de 14 nudos y una velocidad reducida debida al fouling de unos 8,5 nudos. Estos números son extraídos de dos viajes realizados desde San Francisco hasta Yokohama, en el cual la mayor diferencia existente entre los buques es que el barco con incrustaciones por fouling perdía de los 14 nudos a los 8,5 nudos.

Este coste adicional debido a la reducción de velocidad se clasifica en tres categorías diferentes de buques. Según los datos obtenidos existía una pérdida de 1,4 kn en la velocidad media con un 31,67% de fouling en los casos en las buques de la primera categoría de menos de 20.000 TRB. Mientras embarcaciones cuyo TRB varía entre 20.000-30.000 perdían 1,3 kn de velocidad con un 18,22% de fouling en el casco. Asimismo las embarcaciones con más de 30.000 TRB tenían una pérdida media de 1,7 kn con un 22,75% de fouling en el casco.

Por lo tanto existe un incremento en el número de días de viaje cosa que incrementa el coste operacional diario. El coste adicional debido a la reducción de velocidad se muestra a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 3. Incremento del coste debido a la reducción de velocidad. Fuente: Propia, Basado en "A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship's hull" por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015

Embarcación (TRB)	Coste operacional diario (dólares)	Velocidad normal embarcación (nudos)	Velocidad embarcación con fouling (nudos)	Reducción de la velocidad a causa del fouling (nudos)	Incremento de días de viaje debido a la reducción de la velocidad (días)	Incremento del coste debido a la reducción de la velocidad (dólares)
Menos de 20.000	5.730	12	10,6	1,4	3	17.190
20.000-30.000	6.606	12	10,7	1,3	2,1	13.875
Más de 30.000	11.275	13,9	12,2	1,7	2	22.550

La tabla 4 calcula el coste debido al retraso en el viaje a causa de las incrustaciones en el casco. En este caso estudiado se asume que el buque ha de cubrir una distancia de 5000 millas con una velocidad de 1kn/mn (establecido por las industrias navales). Se observa que cuando el buque esta lleno de incrustaciones se retrasa unos 2-3 días en cubrir la distancia lo que implica un aumento del coste de 5.730 \$ a 17.190 \$ para buques de menos de 20.000 TRB's. Una tendencia similar se observa en embarcaciones que van de 20.000 a 30.000 TRB como también en buques de más de 30.000 TRB que incrementaría de 6.606 \$ a 13.875 \$ y de 11.275 \$ a 22.550 \$ respectivamente.

B. INCREMENTO DEL COSTE DEBIDO A LA REDUCCIÓN DE VELOCIDAD

Se observó que de los datos obtenidos de los buques existía un incremento de 2,5 Toneladas/día en cuanto a consumo de combustible para buques de menos de 20.000 TRB con un 31,67% de fouling. Caso similar existía en las embarcaciones cuyo TRB varía entre 20.000-30.000 con un 18,22% de fouling en el casco ya que consumían unas 2 Toneladas/día de combustible adicional. Además en el caso de las embarcaciones con más de 30.000 TRB tenían un incremento del consumo de 2,7 Toneladas/día con un 22,75% de fouling en el casco.

Estos resultados muestran que el aumento de coste operativo de un buque debido al consumo de combustible adicional, aumenta en 1.160 \$ en embarcaciones menores a 20.000 TRB, en los buques entre 20.000 y 30.000 TRB se observa un aumento de 650 \$ y en buques de más de 30.000 TRB existe un incremento de 835 \$.

Estos datos mostrados anteriormente se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 4. Incremento del coste en diferentes embarcaciones debido al incremento del consumo de combustible.

Fuente: Propia, Basado en "A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship's hull" por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015

Embarcación (TRB)	Consumo normal (Toneladas/día)	Consumo con fouling (Toneladas/día)	Incremento de fuel debido al fouling (Toneladas)	Incremento del coste debido al aumento del consumo (dólares)
Menos de 20.000	19	21,5	7,5	1.160
20.000-30.000	19,1	21,1	4,2	650
Más de 30.000	20	22,7	5,4	850

COSTE DE LA ESTANCIA EN DIQUE SECO

El coste de la estancia en dique seco es una suma de todos los gastos durante el periodo de pintado durante el dique seco y los costes operacionales durante los días en estancia en dique seco. Esta información se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5. Coste del dique seco. Fuente: Propia, Basado en "A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship's hull" por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015

Embarcación (TRB)	Coste de la pintura (dólares)	Coste alquiler total por pintar durante el dique seco (dólares)*	Gastos en dique seco (dólares)	Coste operacional diario durante dique seco (dólares) (DOCds)	Coste operacional total durante dique seco (dólares)	Coste del dique seco (dólares)** (Cds)
Menos de 20.000	29.470	313	29.784	2,85	19.855	49.640
20.000-30.000	31.260	313	31.570	5,19	25.794	57.544
Más de 30.000	36.615	313	36.930	8,31	58.140	95.067

* Coste del alquiler total = alquiler diario * núm. de días pintando

** Incluye el coste de la pintura, el alquiler del dique seco y los costes operacionales durante dique seco

PÉRDIDAS DE RÉDITO DEBIDO AL FOULING

Las pérdidas de rédito debido al fouling incluyen las pérdidas de rédito debidas a la reducción de velocidad y las pérdidas de rédito durante la estancia en dique seco.

A. PÉRDIDAS DE RÉDITO DEBIDAS A LA REDUCCIÓN DE VELOCIDAD DEL BUQUE

La reducción de la velocidad del buque debido al fouling deriva a la pérdida de rédito. Esta pérdida es equivalente a la pérdida de fletamento por viaje debido al número de días adicionales de viaje. La pérdida de rédito debida a la reducción de velocidad está representada en la siguiente tabla.

Tabla 6. Pérdidas de rédito debido a la reducción de velocidad. Fuente: Propia, Basado en "A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship's hull" por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015

Embarcación (TRB)	Velocidad normal embarcación (nudos)	Velocidad embarcación con fouling (nudos)	Reducción de la velocidad a causa del fouling (nudos)	Incremento de días de viaje debido a la reducción de la velocidad (días) (di)	Pérdidas de rédito debido a la reducción de velocidad (dólares/día) (LRsp)
Menos de 20.000	12	10,6	1,4	3	4689
20.000-30.000	12	10,7	1,3	2,1	18383
Más de 30.000	13,9	12,2	1,7	2	18755

B. PÉRDIDA DE RÉDITO DURANTE EL PERÍODO DE DIQUE SECO

El incremento de periodo en el dique seco causa también pérdidas de de rédito. Estas pérdidas se pueden calcular mediante los fletamentos de viaje perdidos durante los días adicionales estando en el dique seco debido al fouling. Esta información se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7. Pérdida de rédito durante estancia en el dique seco. Fuente: Propia, Basado en "A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship's hull" por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015

Embarcación (TRB)	Número de días en el dique por pintado	Tarifa de flete diaria (dólares)	Pérdida de rédito durante estancia en el dique seco (Ldd) (dólares)
Menos de 20.000	7	2500	10.941
20.000-30.000	7	14000	61.265
Más de 30.000	7	15000	65.640

COSTE TOTAL DEL FOULING

El coste total debido al fouling se calcula mediante la suma de todos los costes adicionales debidos al fouling calculados anteriormente, es decir, el sumatorio del incremento del coste debido a la reducción de velocidad, coste de la estancia en dique seco y pérdidas de rédito debido al fouling. Los costes adicionales se muestran en la tabla 8. Esta tabla es una tabla resumen de todos los costes adicionales que ocurren en los buques debido al fouling. Esta tabla se muestra a continuación:

Tabla 8. Coste adicional debido al fouling. Fuente: Propia, Basado en "A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship's hull" por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015

Embarcación (TRB)	Incremento del coste debido a la reducción de la velocidad (dólares) (Csp)	Incremento del coste debido al aumento del consumo (dólares) (Cfc)	Coste del dique seco (dólares) (Cds)	Pérdidas de rédito debido a la reducción de velocidad (dólares/día) (LRsp)	Pérdida de rédito durante estancia en el dique seco (dólares) (Ldd)	Coste adicional debido al fouling (dólares) (CA)
Menos de 20.000	17.415	1.173	49.640	4689	10.941	83.844
20.000-30.000	14.066	656,4	57.544	18383	61.265	151.911
Más de 30.000	22.863	844	95.067	18755	65.640	203.158

Se observa que existe un incremento del 85% en el coste total en los buques de menos de 20.000 TRB, un incremento del 133 % en buques entre 20.000 y 30.000 TRB y un incremento del 118 % en buques de más de 30.000 TRB debido a la actuación del fouling en el casco.

Este estudio demuestra que la disposición de un buen sistema antifouling es esencial para prevenir la aparición de éste y evitar los elevados costes adicionales que provoca. Debido a la dificultad de obtención de datos sobre cuan eficaz resulta un sistema antifouling este estudio es lo más parecido posible a los costes estimados provocados por este fenómeno. Una vez se consigan mejores sistemas de obtención de datos para las pinturas antifouling, se podrán mostrar resultados más precisos.

5.4. CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO COMPARATIVO

El aumento de rugosidad del casco debido al fouling provoca el aumento de consumo de combustible que a su vez implica un aumento de las emisiones de CO₂.

En el año 2007, Westergaard mediante su regla del dedo indicó que por cada 10 micrómetros de rugosidad se aumenta aproximadamente un 1% el consumo de combustible.

La resistencia a la fricción puede ser en la mayoría de los casos el 90% de la resistencia total incluso si los cascos están libres de fouling y son muy lisos. A causa del fouling la resistencia a la fricción en los cascos aumenta considerablemente, a pesar de que parte de la influencia es producida por el tipo y cantidad de fouling existente. En algunos casos la resistencia a la fricción para velocidades entre 5 y 15 nudos puede aumentar un 5% debido a los limos presentes en los cascos.

Como conclusión del estudio comparativo de costes entre un buque con fouling y otro en perfectas condiciones se adjunta la siguiente tabla:

Tabla 9. Comparación entre costes con y sin fouling adherido en el casco. Fuente: Propia, Basado en "A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship's hull" por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015

Embarcación sin fouling							Embarcación con fouling					
Embarcación (TRB)	Nº días	DOC (\$)	Coste Total (\$)	Nº días	Csp (\$)	Cfc (\$)	Cds (\$)	Ldd (\$)	LRsp (\$)	CA (\$)	Coste Total (\$)	% incrementado
Menos de 20.000	17	98.684	98.684	20	17.415	1.173	49.640	10.941	4689	83.844	182.528	85
20.000 - 30.000	17	113.866	113.866	19	14.066	656,4	57.544	61.265	18383	151.911	265.777	133
Más de 30.000	17	171.469	171.469	17	22.863	844	95.067	65.640	18755	203.158	374.627	118

El empleo de un sistema antifouling de calidad puede reducir enormemente el impacto en el casco y por lo tanto un gran ahorro en cuanto a costes adicionales debidos al fouling. Sin embargo, el mercado de productos antifouling mueve alrededor de 250 millones de dólares al año que es bastante poco en comparación con el aumento del coste de registros y otro tipo de certificados de aprobación para productos.

Desde la Asociación de Sistemas Antifouling se prohibieron las pinturas antifouling basadas en estaño, debido a esta convención se destinaron recursos a la investigación en pinturas antifouling sin biocidas, que evitan dañar el medio marino. Se examinaron distintos compuestos para hacer la comparativa entre prestaciones. Se comparó la pintura Hempasil basada en componentes de silicona y una pintura autopulimentable convencional. Para el buque de mayor eslora se observó que existía un ahorro de combustible entre 1800 y 7800 toneladas al año o en términos económicos un ahorro de entre 0,6 y 2,6 millones de dólares al año.

Capítulo 6. Definición de una herramienta web sobre antifouling

6.1. PROBLEMÁTICA

En el mundo de la náutica existen infinidad de productos, marcas, empresas, sin embargo, existen pocas herramientas para el usuario medio que es propietario de una embarcación de recreo la cual utiliza durante el verano y necesita consejo o ayuda para realizar su capa de protección de pintura. A pesar de la existencia de portales o foros donde se discuten estos temas no existe un portal globalizado donde el usuario medio sepa con exactitud que pintura emplear y con que cantidad y que precio es el razonable.

Generalmente los precios de estos productos en la compra a terceros están por encima de la media y al no existir un conocimiento mayoritario de éstos por los usuarios, suelen acabar pagando de más por un producto que puede costar bastante menos. Para solucionar este problema existente a continuación se presenta una propuesta de servicio web en el que los usuarios puedan acceder de forma gratuita y escoger el mejor producto y al mejor precio, consiguiendo así, una buena aproximación a la selección del producto más óptimo que puede resolver su problema de biofouling.

6.2. CREACIÓN DEL PORTAL WEB

Debido a la problemática anterior, la idea práctica de este trabajo centrado en las pinturas antifouling, es la realización de un portal web para que cualquier usuario pueda consultar según las características de su embarcación qué tipo de pintura es la más apropiada y su correspondiente precio sin temor a escoger un producto inadecuado o pagar más, debido a la especulación que ciertos productos de consumo en el mercado de la náutica de recreo experimentan, sobre todo, si se está en el área de influencia del puerto en que se tiene amarrada la embarcación y a veces que aprovechan la situación de desconocimiento por parte de un sector amplio de los usuarios.

Para la creación de la web conceptual se emplea el software Microsoft office Publisher el cual permite crear una web visual a medida del usuario. El diseño creado es simple y sencillo de modo que cualquier usuario habituado a navegar por la red pueda hacer uso de este portal.

El portal dispone de distintas partes:

Se dispone de un catálogo con una gran variedad de productos de las empresas con mayor reputación internacional y con las mejores tecnologías en la elaboración de sus pinturas. Este catálogo está formado por distintos productos almacenados en una base de datos Acces en distintas tablas.

La funcionalidad del portal web permitiría entre otras acciones, realizar las siguientes acciones básicas:

- ✓ Disponer de un catálogo online para que un usuario cualquiera pueda obtener información y ver las características de forma detallada sobre el producto que quiera
- ✓ Un modo de búsqueda con filtro en el cual introduciendo una serie de datos sobre la embarcación que posee el usuario, el sistema pueda deducir mediante la base de datos implementada en el portal qué producto es el más adecuado en función de los datos introducidos. Añadiendo además una opción de filtrado por precio
- ✓ Una ventana de clientes en la cual permita al usuario registrarse de forma gratuita y así poder comprar de forma directa o indirecta vía el portal web el producto seleccionado
- ✓ Una ventana y enlaces directos a la lista de Proveedores más importantes en el mundo de la náutica con sus respectivos datos almacenados en la base de datos creada

Para la creación del portal se crean principalmente 5 apartados en los que se permite ver una breve descripción del portal, otra ventana de información relativa sobre el portal en cuanto a ubicación, contacto, teléfono y mail. Una vez creadas las ventanas de información más general se crea el catálogo de productos con todos los productos existentes en la base de datos donde aparecen los más vendidos a los usuarios en la ventana principal. En la ventana del catálogo se permite filtrar la búsqueda por fabricante o por cualquier otro campo creado en la base de datos, lo que permite realizar búsqueda por:

- Tipo de embarcación
- Material del casco/Zona de aplicación
- Color
- Tipo de Anti incrustante (Matriz dura, matriz blanda, autopulimentable)
- Precio*

**En cuanto al precio debido a que la información obtenida sobre los productos es a través de los catálogos no se dispone de un precio exacto para cada producto. De esta forma a modo de solución para obtener precio y acuerdo con los fabricantes se podrían crear acuerdos entre portal y fabricante para la obtención de precios competitivos en el mercado y establecer un margen de beneficio del 5% como intermediario entre fabricante y usuario.*

También se incluirán en el portal web los vínculos con los fabricantes de cada pintura añadiendo su teléfono de contacto, su dirección, su dirección de correo electrónico y sus páginas web.

De este modo el diseño del portal web quedaría de la siguiente manera como se muestra en la siguiente figura:



Ilustración 36. Página principal del portal web. Fuente: Propia

En la página principal del portal se puede observar una breve descripción del portal y sus funcionalidades con una serie de contactos para una mayor facilidad para el usuario poder contactar con el portal.

La siguiente ventana del portal es la de información de contacto que se muestra en la siguiente figura:



Ilustración 37. Ventana de información de contacto. Fuente: Propia

En la ventana de información de contacto se puede ver con más detalle la ubicación de la sede del portal junto a las indicaciones para poder acceder a la facultad en transporte público y un mapa adjunto de google maps con su ubicación exacta.

Una vez el usuario conoce la empresa y los métodos de contacto sobre ella puede acceder al catálogo de productos que tiene un listado de productos de los cuales se puede filtrar su búsqueda por distintos los distintos campos establecidos en la base de datos como por ejemplo fabricante, aplicación, tipo de matriz, precio, etc.

El catálogo una vez filtrado a petición del usuario tiene como aspecto el de la siguiente ilustración:

UPC
Portal líder en compra de productos Antifouling en España

SERVINAUTIC
Información de contacto: 93.401.79.36

Lista de productos

A continuación se presenta la lista de productos en el catálogo disponible:

- HEMPEL'S CLASSIC 71220**
Pintura anti incrustante autopulimentable. Para embarcaciones de fibra de vidrio, madera, contrachapado, acero. Colores: Negro. Fabricante: HEMPEL
Código de producto: 1HP • [Más](#) Precio: 00,00 €
- TRILUX 33**
Pintura anti incrustante autopulimentable. Para embarcaciones de aluminio. Colores: Blanco, navy, negro, rojo, verde, azul. Fabricante: INTERNATIONAL
Código de producto: 8INT • [Más](#) Precio: 00,00 €
- Aqualine Optima Spray**
Pintura anti incrustante autopulimentable. Para colas, flaps, hélices y metales ligeros. Colores: Gris, Negro. Fabricante: JOTUN
Código de producto: 1JT • [Más](#) Precio: 00,00 €
- PATENTE AUTOPULIMENTABLE LIXIVIANTE**
Pintura anti incrustante autopulimentable. Para cualquier tipo de embarcación. Colores: Blanco y en colores. Fabricante: TITANLUX
Código de producto: 1TIT • [Más](#) Precio: 00,00 €
- Hempel Silic One**
Pintura anti incrustante sin biocidas. Para embarcaciones de fibra de vidrio y acero. Colores: Negro. Fabricante: HEMPEL
Código de producto: 16HP • [Más](#) Precio: 00,00 €

Ilustración 38. Ventana con la lista de productos disponible. Fuente: Propia

NOTA: Como se ha explicado anteriormente en la creación de la base de datos, al no disponer de contacto con los proveedores no se puede asignar un precio definitivo en cada producto. Sin embargo, se pueden establecer convenios con dichos fabricantes para obtener un precio y permitir la transacción entre fabricante y usuario y obtener un porcentaje de beneficio como intermediario.

En el caso que el usuario esté interesado en un producto y quiera conocer más información detallada sobre dicho producto simplemente haciendo click sobre "Más" automáticamente se despliega la información detallada sobre el producto como se muestra en la siguiente figura sobre un producto cualquiera:



Ilustración 39. Ventana ampliada de selección de producto. Fuente: Propia

En el caso que el usuario esté interesado en Hempel Silic One se abre una ventana nueva en la que tiene disponible una descripción más detallada sobre las características del producto, gamma de colores y el uso más habitual del producto en relación a las embarcaciones.

En el portal se añaden las funciones de lista de servicios explicados anteriormente. En esta lista el usuario puede registrarse en la zona clientes para acceder a descuentos exclusivos, obtener puntos al realizar las compras y posteriormente canjearlos por descuentos en productos y obtener un registro de todas las compras realizadas al detalle lo que facilita las futuras compras del usuario en el portal. También se dispone de una zona de descuentos en la que cada mes del año se dispondrán en función de la temporada de navegación una serie de descuentos para todos los usuarios en cuanto a los productos más destacados. En el caso que el usuario esté registrado en el portal obtendrá un 5 % extra de descuento en dichos productos.

En esta sección del portal es donde se realizan las compras de los productos una vez se han preseleccionado en el catálogo aparecerán en la sección para poder finalizar la compra. Y finalmente se añade una guía de seguridad en la cual se muestran una serie de instrucciones y precauciones para todos los usuarios que decidan realizar el pintado por su mano.

Todas estas opciones se muestran en la siguiente figura:



Ilustración 40. Ventana de servicios disponibles del portal web. Fuente: Propia

6.3. CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Para la creación del portal web con su posterior consulta de datos sobre una base de datos almacenada en un servidor, primero se crea la base de datos con software Acces debido a su funcionamiento sencillo y visual.

Se crean distintas tablas para facilitar la obtención de datos posterior. Se crea una tabla por cada fabricante de productos, se crean tablas para productos HEMPEL, JOTUN, INTERNATIONAL (yachtpaint) y TITANLUX como principales proveedores a escala nacional.

Una vez creadas las tablas para cada fabricante se introducen todos los productos disponibles en el mercado actual de cada fabricante con un patrón de características común en todas las tablas como son:

- Nombre del producto
- Material del casco / Zona a aplicar
- Color
- Precio
- Fabricante

Una vez definidos, estos campos son los que estarán disponibles para el usuario en el portal web para poder determinar qué producto antifouling será el que mejor se adapte a sus necesidades.

Además de las tablas de productos creadas en la base de datos se crean tablas relacionadas de proveedores con sus datos de contacto para crear enlaces directos y también una tabla de clientes para ofrecer el servicio y obtener los datos de los usuarios dados de alta para un mejor funcionamiento global entre proveedor-portal-usuario y por si fuese necesario en caso de reclamación o inconveniente poder obtener una rápida respuesta entre usuario y proveedores o entre usuario y administradores del portal en función del problema.

Una vez se crean todas las tablas se pasa a la creación de las relaciones entre ellas. La relación más importante para facilitar la búsqueda es crear un filtro por fabricante, de este modo si se agrupan los productos por su fabricante cuando el usuario quiera realizar búsqueda por fabricante, la base de datos buscará dentro de la tabla de productos su relación establecida con la marca del fabricante y tan sólo mostrará productos de los fabricantes deseados por el usuario. Del mismo modo se permite al usuario filtrar resultados por otros campos en la tabla de productos en función de la necesidad que tenga.

Existe una relación entre productos y fabricante con el campo común de Nombre del fabricante en ambas tablas de modo que cada consulta sobre un fabricante mostrará los productos disponibles.

Esta relación establecida entre las tablas en vista de diseño de la base de datos se muestra de la siguiente forma según cada fabricante:

Relaciones		Fabricantes						
Nombre fabricante		Direccion fabricante		Correo fabricante	Telf fabricante	Sitio web		
HEMPEL		Carr. de Sentmenat, 108, 08213 Barcelona			937 13 00 00	www.hempel.es		
Nombre Producto		Tipo Matriz	Material Casco	Color		Código producto	Código proc	Haga
HEMPEL'S CLASSIC 71220		Autopulimentable	Fibra de vidrio, madera, contrach:	Azul	1HP	1HP		
HEMPEL'S HARD RACING TecCel 7688W		Autopulimentable	Fibra de vidrio, madera, contrach:	Blanco	2HP	2HP		
HEMPEL'S HARD RACING WHITE 76300		Matriz soluble	Fibra de vidrio, madera, contrach:	Negro	3HP	3HP		
HEMPEL'S MILLE NCT 7188W		Autopulimentable	Fibra de vidrio, madera, contrach:	Blanco	4HP	4HP		
HEMPEL'S MILLE WHITE 71150		Autopulimentable	Fibra de vidrio, madera, contrach:	Gris	5HP	5HP		
HEMPEL'S PROP NCT		Autopulimentable	Fibra de vidrio, madera, contrach:	Blanco	6HP	6HP		
HEMPEL'S ALUXTRA 71260		Autopulimentable	Fibra de vidrio, madera, contrach:	Rojo	7HP	7HP		
HEMPEL'S ANTIFOULING CLASSIC 76110		Autopulimentable	Helices y motores fueraborda	Negro	8HP	8HP		
HEMPEL'S BRAVO 76140		Matriz soluble	-	Rojo	9HP	9HP		
HEMPEL'S CRUISING PERFORMER 7110H		Matriz insoluble	Embarcaciones de carreras	Negro	10HP	10HP		
HEMPEL'S CRUISING PERFORMER 7168E		Matriz insoluble	Fibra de vidrio, madera, contrach:	Blanco	11HP	11HP		
HEMPEL'S GLIDE SPEED 7648G		Matriz insoluble	fibra de vidrio, acero y madera	Blanco	12HP	12HP		
HEMPEL'S GLIDE SPEED WHITE		Matriz insoluble	embarcaciones potentes, de carre	Negro	13HP	13HP		
Hempel's Hard Racing TecCel 76890		Matriz insoluble	Fibra de vidrio, madera, contrach:	Blanco	14HP	14HP		
Hempel's Milie NCT 71890		Matriz insoluble	Fibra de vidrio, madera, contrach:	Rojo	15HP	15HP		
Hempel's Silic One		Base de Silicona e h	Todo tipo embarcaciones	Rojo, negro y azul	16HP	16HP		
*								
INTERNATIONAL		Carrer Aragó, 179		yacht.spain@akzonobel.com	935 45 00 19	http://www.yachtpaint.com/esp/diy/default.		
JOTUN		Carrer Estàtica, 3, 08755 Castellbisbal, Barcelona		iberica@jotun.es	937 71 18 00	https://www.jotun.com/es/es		
TITANLUX		Paseo de la Zona Franca, 111, Torre Auditori - Planta 10, 08038 Barcelona		info@titanlux.es	934 79 74 94	https://www.titanlux.es/		

Ilustración 41. Relación de productos HEMPEL y fabricante. Fuente: Propia

Relaciones	Fabricantes						
Nombre fabricante	Dirección fabricante	Correo fabricante	Teléfono fabricante	Sitio web			
HEMPEL	Carr. de Sentmenat, 108, 08213 Barcelona		937 13 00 00	www.hempel.es			
INTERNATIONAL	Carrer Aragó, 179	yacht.spain@akzonobel.com	935 45 00 19	http://www.yachtpaint.com/esp/diy/default			
Nombre Producto	Tipo Matriz	Material Casco	Color	Código producto	Código proc	Haga clic para agregar	
Boatguard EU	Autopulimentable	embarcaciones alta velocidad	Blanco, Rojo, azul, negro	1INT			
Cruiser Uno EU	Autopulimentable	embarcaciones velocidad <25 Kn	Blanco, rojo, navy, negro, azul	2INT			
Intersmooth 360 SPC	Autopulimentable	embarcaciones velocidad <25 Kn	Negro, azul, marrón oscuro, rojo oscuro, marrón	3INT			
Interswift 6800HS	Autopulimentable	-	Rojo, azul, negro, verde, marrón	4INT			
Micron 77	Autopulimentable	Cualquiera	Negro, Navy, Azul, Rojo	5INT			
Micron Extra EU	Autopulimentable	-	Blanco, Navy, Rojo, Gris oscuro, azul, negro, verde	6INT			
Micron Optima	Autopulimentable	-	Blanco, Negro, Rojo, Azul	7INT			
Trilux 33	Autopulimentable	embarcaciones aluminio	Blanco, navy, negro, rojo, verde, azul	8INT			
Trilux Prop-O-Drev	Autopulimentable	-	Gris, negro	9INT			
Ultra EU	Matriz Dura	-	Blanco, rojo, azul, navy, negro, verde, gris oscuro	10INT			
Uni-Pro EU	Autopulimentable	embarcaciones velocidad <25 Kn	Blanco, rojo, navy, azul, negro	11INT			
VC 17M EP Powder	Matriz Dura	embarcaciones de regata	-	12INT			
VC Offshore	Matriz Dura	-	Blanco, azul, rojo, negro	13INT			
JOTUN	Carrer Estàtica, 3, 08755 Castellbisbal, Barcelona	iberica@jotun.es	937 71 18 00	https://www.jotun.com/es/es			
TITANLUX	Paseo de la Zona Franca, 111, Torre Auditori - Planta 10, 08038 Barcelona	info@titanlux.es	934 79 74 94	https://www.titanlux.es/			

Ilustración 42. Relación de productos INTERNATIONAL y fabricante. Fuente: Propia

Relaciones	Fabricantes						
Nombre fabricante	Dirección fabricante	Correo fabricante	Teléfono fabricante	Sitio web			
HEMPEL	Carr. de Sentmenat, 108, 08213 Barcelona		937 13 00 00	www.hempel.es			
INTERNATIONAL	Carrer Aragó, 179	yacht.spain@akzonobel.com	935 45 00 19	http://www.yachtpaint.com/esp/diy/default			
JOTUN	Carrer Estàtica, 3, 08755 Castellbisbal, Barcelona	iberica@jotun.es	937 71 18 00	https://www.jotun.com/es/es			
Nombre Producto	Tipo Matriz	Material Casco	Color	Código producto	Código proc	Haga clic para agregar	
Mare Nostrum SP	Autopulimentable	Cualquiera (excepto agua dulce)	Negro, azul oscuro, rojo, blanco	2JT			
NonStop	Autopulimentable	Cualquiera (excepto agua dulce)	Blanco, gris, azul, azul oscuro, rojo, negro	3JT			
NonStop Supreme	Autopulimentable	Cualquiera (Evitar cascos aluminio)	Gris oscuro, azul, azul oscuro, rojo, negro	4JT			
NonStop Supreme White	Autopulimentable	Casos aluminio	Blanco	5JT			
Racing	Matriz Dura	Embarcaciones alta velocidad	Negro, azul, azul oscuro, gris, rojo, blanco	6JT			
Aqualine Optima Spray	Autopulimentable	colas, flaps, hélices y metales ligeros	Gris, Negro	1JT			
TITANLUX	Paseo de la Zona Franca, 111, Torre Auditori - Planta 10, 08038 Barcelona	info@titanlux.es	934 79 74 94	https://www.titanlux.es/			

Ilustración 43. Relación de productos JOTUN y fabricante. Fuente: Propia

Relaciones	Fabricantes						
Nombre fabricante	Dirección fabricante	Correo fabricante	Teléfono fabricante	Sitio web			
HEMPEL	Carr. de Sentmenat, 108, 08213 Barcelona		937 13 00 00	www.hempel.es			
INTERNATIONAL	Carrer Aragó, 179	yacht.spain@akzonobel.com	935 45 00 19	http://www.yachtpaint.com/esp/diy/default			
JOTUN	Carrer Estàtica, 3, 08755 Castellbisbal, Barcelona	iberica@jotun.es	937 71 18 00	https://www.jotun.com/es/es			
TITANLUX	Paseo de la Zona Franca, 111, Torre Auditori - Planta 10, 08038 Barcelona	info@titanlux.es	934 79 74 94	https://www.titanlux.es/			
Nombre Producto	Tipo Matriz	Material Casco	Color	Código producto	Código proc	Haga clic para agregar	
PATENTE AUTOPULIMENTABLE LIXIVIAN	Autopulimentable	Cualquiera	Blanco y colores	1TIT			
PATENTE AUTOPULIMENTABLE UNIVERSAL	Autopulimentable	Cualquiera	Blanco y colores	2TIT			
PATENTE AUTOPULIMENTABLE USO PROFESIONAL	Autopulimentable	Cualquiera	Negro, Blanco, Gris	3TIT			
PATENTE COLAS	Matriz Dura	Embarcaciones Alta velocidad a motor	Blanco y colores	4TIT			
PATENTE PARA HÉLICES	Matriz Dura	Motores fuera borda, hélices, flaps	Blanco, negro y gris	5TIT			
PATENTE VINÍLICA 'ABLATIVA'	Matriz Dura	Hélices, ejes, flaps, timones y mollos	Gris	6TIT			

Ilustración 44. Relación de productos TITANLUX y fabricante. Fuente: Propia

De este modo quedan establecidas las relaciones entre fabricante y producto en la base de datos.

Otra de las opciones del portal web sería el de una zona clientes en la cual el usuario puede registrarse accediendo así como cliente en el portal y obtener un registro sobre sus datos, compras y valoraciones sobre productos obteniendo así un *feedback* de cada usuario sobre el portal y poder mejorarlo. Esta relación de tablas que permite al usuario quedar registrado en el servidor y poder ver que productos compra y su posterior valoración se muestra a continuación en la siguiente figura:

Clientes						
Nombre Cliente	Correo Cliente	Teléfono Contacto	Dirección Cliente	Haga clic para agregar		
Guillem Candelas Corrales	guillem_47@hotmail.com	686901328	Av Rio de Janeiro 63			
Código de p	Fecha Compra	Hora	Total	Haga clic pa		
*			0			
			0			

Ilustración 45. Ventana de cliente con respectivo historial de compra. Fuente: Propia

Una vez creadas las tablas, se dispone a crear las relaciones entre ellas para que funcionen correctamente y que el ordenador busque la información requerida en un campo u otro. Las relaciones establecidas entre las tablas se muestran a continuación en la siguiente figura:

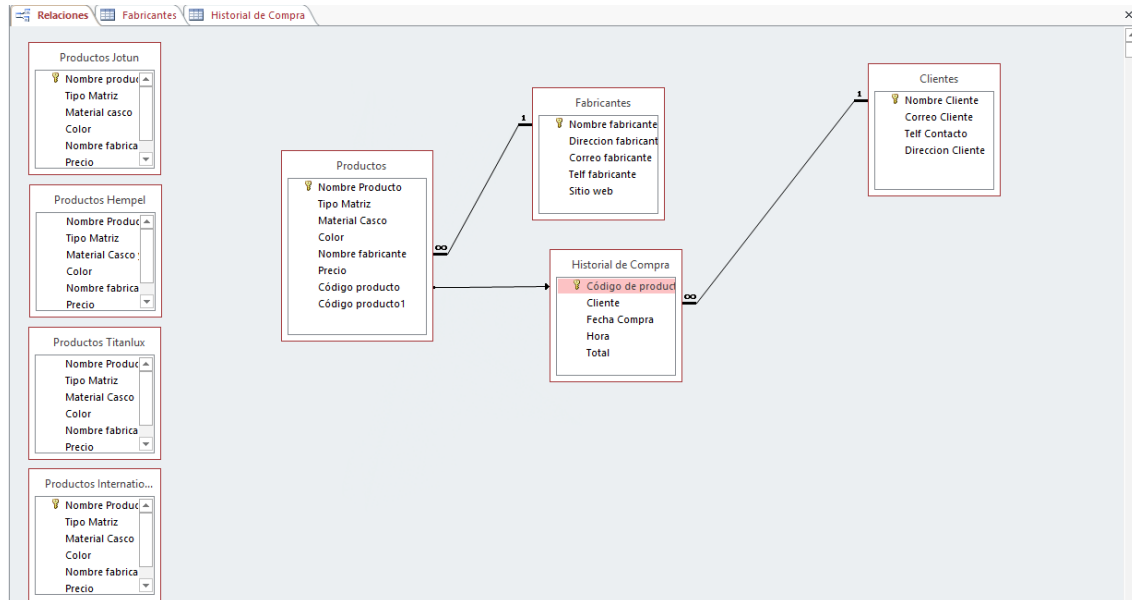


Ilustración 46. Relaciones entre tablas de la base de datos. Fuente: Propia

Conclusiones

A lo largo del trabajo se ha podido observar que el biofouling sigue siendo uno de los mayores problemas existentes en el sector naval, y que conlleva a grandes pérdidas de dinero debido a los costes adicionales por su eliminación, tratamiento o prevención. Sin embargo cabe destacar que se ha producido un gran avance en cuanto a las medidas para prevenir la aparición del fouling, y éstas cada vez son más ecológicas y cuidadosas con el medio ambiente.

Se ha planteado y definido la arquitectura para un sistema de apoyo y adquisición/compra de productos antifouling que, a partir de una base de datos actualizable periódicamente pueda servir para seleccionar de manera óptima este tipo de productos, consiguiendo a la vez información técnica que generalmente no es de fácil acceso o de dominio generalizado. Una versión más avanzada de esta herramienta podría tomar como base la aproximación hecha en este trabajo y ser el objeto de otro trabajo de investigación.

Al realizar este trabajo, se puede observar también las tendencias en el mercado y hacia donde evolucionan las pinturas antifouling. Los fabricantes y las normativas existentes que se van remodelando tienen una dirección común y es hacia un futuro sin elementos tóxicos que se puedan desprender en el océano. También se desarrollan sistemas alternativos a las pinturas que cuidan el medio ambiente y cada vez se destinan más fondos para su investigación y mejora.

Finalmente, destacar el hecho de que el mercado de los productos antifouling, así como lo ha sido el de las pinturas y recubrimientos y la lucha contra la corrosión, es un mercado en crecimiento que seguirá su evolución, permitiendo crear más investigación y el desarrollo y producción de productos, lo que garantizará una industria especializada en estos productos y que generará más puestos de trabajo y una economía específica con bastantes opciones de expansión.

Bibliografía

- [1] Vinod B. Damodaran y N. Sanjeeva Murthy “ Bio-inspired strategies for designing antifouling biomaterials” Publicado el 20 de Junio de 2016. [Consultado 2 Junio] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4913429/>
- [2] Ramesh Tripathi, Chugoku Paints “Advances in Antifouling Coatings Technology”, 10 de Mayo de 2016. [Consultado 30 junio] Disponible en: https://www.coatingsworld.com/issues/2016-10-01/view_features/advances-in-antifouling-coatings-technology
- [3] Marine Fouling and its Prevention Nº 580 del Instituto Oceanográfico Woods Hole, Annapolis, Maryland. Capítulo 11 [Consulta el 18 Abril] Disponible en: <https://darchive.mblwhoilibrary.org/bitstream/handle/1912/191/chapter%2011.pdf?sequence=20>
- [4] DNV GL Standard for certification Type Approval, Enero de 2013. [Consultado 18 Junio] Disponible en: <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNV/stdcert/2013-01/Standard1-2.pdf>
- [5] Normativa ISO 9001:Versión 2015. [Consultado el 12 Junio] Disponible en: <http://www.fomento.gob.es/nr/rdonlyres/23c12f31-2179-47c0-aa6b-9165529b74da/112631/iso90012000.pdf>
- [6] A method for analysis of costs and benefits of antifouling systems applied on ship’s hull” por Sangeeta Sonak, Asha Giriyan and Prajwala Pangam. 30 Enero 2015 [Consultado el 18 mayo] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/271520689_A_method_for_analysis_of_costs_and_benefits_of_antifouling_systems_applied_on_ship_hull
- [7] Boats.com. Artículo sobre Cómo elegir el antifouling. Por Rupert Holmes, 30 de Abril de 2016. [Consulta el 26 de Marzo] Disponible en: <http://es.boats.com/consejos/como-elegir-el-antifouling/#.WxaPU1OFPBJ>
- [8] Yachtpaint.com Artículo sobre pinturas antifouling por Jim Seidel, Noviembre de 2012. [Consulta el 28 de Abril] Disponible en: http://www.yachtpaint.com/LiteratureCentre/antifouling_101_usa_eng.pdf
- [9] Lennox, J. "Biofilm Development." Biofilms: The Hypertextbook. 1 de Mayo de 2011. [Consulta el 13 de Abril] Disponible en: http://biofilmbook.hypertextbookshop.com/public_version/contents/chapters/chapter002/section003/blue/page001.html
- [10] Alfred B. Cunningham, John E. Lennox, and Rockford J. Ross, Eds. 2001-2008 “Biofilm Development”. [Consulta el 13 de Abril] Disponible en: http://biofilmbook.hypertextbookshop.com/public_version/contents/chapters/chapter002/section003/blue/page001.html
- [11] J. Mater. Chem B 2015 Ayda G. Nurioglu , A. Catarina C. Esteves and Gijsbertus de With, 22 Junio de 2015. “Non-toxic, non-biocide-release antifouling coatings based on molecular structure design for marine applications” [Consultado el 17 de Abril] Disponible en: <http://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleHtml/2015/TB/c5tb00232j>
- [12] Ha Flemming, Hans-Curt. (2002). Biofouling in water systems - Cases, causes and countermeasures. Applied microbiology and biotechnology. 59. 629-40. 10.1007/s00253-002-1066-9. [Consultado el 2 mayo] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/11162443_Biofouling_in_water_systems_-_Cases_causes_and_countermeasures
- [13] M. Candries, C.D. Anderson, M. Altar “Foul Release systems and Drag”, Abril de 2001. [Consulta el 8 de Mayo] Disponible en:

https://www.paintsquare.com/library/articles/Foul_Release_Systems_and_Drag_Observations_on_How_the_Coatings_Work.pdf

- [14] Thompson Clarke Shipping Pty.Ltd in association with CTI Consultants Pty.Ltd I Sr John A. Lewis
“ANTIFOULING PERFORMANCE STANDARDS FOR THE MARITIME INDUSTRY” [Consultado el 17 de Abril]
Disponible en: <https://www.environment.gov.au/system/files/resources/00cbf46f-06e7-44c7-8ff5-eb25d4ca3481/files/antifouling-framework.pdf>
- [15] MME Marine Growth Prevention System. [Consultado 1 de Julio] Disponible en: http://www.mme-group.com/fileadmin/user_upload/Documenten/Downloads/EN/MME-Group-ICAF-Leaflet-English.pdf
- [16] Página web principal de Hempel. Dispoible en: <http://www.hempel.es/>
- [17] Página web de Titanlux. Disponible en: <https://www.titanlux.es/index.php>
- [18] Página web de Jotun. Disponible en: <https://www.jotun.com/es/es/>
- [19] Página web de International. Disponible en: <http://www.yachtpaint.com/esp/diy/default.aspx>

